

**Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção**

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA FACILITAR A MUDANÇA DAS TÉCNICAS
DE PROJETOS: DA PRANCHETA À MODELAGEM SÓLIDA (CAD)
PARA EMPRESAS DE ENGENHARIA DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**

Tese de Doutorado

Henderson José Speck

**Florianópolis
2005**

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA FACILITAR A MUDANÇA DAS TÉCNICAS
DE PROJETOS: DA PRANCHETA À MODELAGEM SÓLIDA (CAD)
PARA EMPRESAS DE ENGENHARIA DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**

Henderson José Speck

Tese de Doutorado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito parcial para a obtenção
do título de Doutor em
Engenharia de Produção

Florianópolis

2005

Henderson José Speck

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA FACILITAR A MUDANÇA DAS TÉCNICAS
DE PROJETOS: DA PRANCHETA À MODELAGEM SÓLIDA (CAD)
PARA EMPRESAS DE ENGENHARIA DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia de Produção** no **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 5 de julho de 2005.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Luis Alberto Gómez
Orientador – UFSC

Dr. Antônio Carlos de Souza
Avaliador – UFSC

Dr. Arnaldo Debatin Neto
Avaliador – UFSC

Dr. Francisco Antônio Pereira Fialho
Moderador – UFSC

Dra. Elaine Ferreira
Avaliador – UFSC

Dr. Júlio César da Silva
Avaliador – UFSC

Dra. Marília Matos Gonçalves
Examinador Externo – Faculdade Barddal

Dra. Ana Elizabeth Moiseichyk
Examinador Externo – Faculdade Barddal

À Doris, esposa e companheira.

Aos meus filhos, Giselle e Matheus.

Agradecimentos

Ao orientador Prof. Dr. Luis Alberto Gómez, pelo apoio e positivismo.

À Doris, Giselle e Matheus, pelo companheirismo, paciência e compreensão.

Aos meus pais, Hilberto Speck e Élia Souza Speck, *in memoriam*,
pelos valores morais e éticos dos quais herdei.

Aos meus irmãos Hilberto, Hamilton, *in memoriam*, Hiran, Stela,
Silesia e Sylvania, pela convivência.

À minha segunda mãe Paula Speck Garbelloto, *in memoriam*, por ter me
proporcionado uma infância da qual tenho muita saudade
de toda sua paciência e ternura.

Agradecimentos especiais aos professores Antônio Carlos de Souza,
Edison Rohleder, Júlio César da Silva, José Arno Scheidt
e Francisco Antônio Pereira Fialho.

A banca examinadora, pela gentileza de atender o convite e que
certamente contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos colegas Edison Luiz Bugay, Carlos Eduardo Mauro, Carlos Roberto
Klava, Harilton Savi, Hélió Waltrick Ramos, Henrique Farias,
Isolete T. Wilvert Roussenq, Jucemar Costa, Mauricio Silva Costa,
Paulo Blank, Roberto Fischer e Wilson Seberino da Silva.
que diretamente auxiliaram e colaboraram com o meu trabalho
na orientação e apoio nesta pesquisa.

Ao Colegiado do EGR, ao CCE, ao PPGE e a UFSC,
por oportunizarem-me esta qualificação profissional.

Resumo

SPECK, Henderson José. **Proposta de método para facilitar a mudança das técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (CAD) para empresas de engenharia de pequeno e médio porte.** Florianópolis, 2005. 172p + xiii. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. UFSC, 2005.

Este trabalho de pesquisa tem como finalidade apresentar um estudo de implantação de sistemas CAD (Computer Aided Design) em empresas de engenharia. Apresenta a evolução das técnicas de projeto desde o desenho técnico tradicional, até a utilização dos sistemas CAD contemporâneos. Busca, fundamentado em procedimentos metodológicos, estabelecer parâmetros que devem ser criteriosamente estudados para a implantação progressiva dos sistemas CAD no processo de projeto no contexto das empresas de engenharia de pequeno e médio porte. Assim, através de entrevistas, análise documental, questionários e observações, pretende-se levantar, identificar, estratificar e definir as questões fundamentais referentes, às mudanças no ambiente de projeto, e custos e benefícios deste processo nestas empresas. Propõe-se um método que poderá servir como apoio para estudos de viabilização do processo da mudança do meio físico tradicional (desenho técnico 2D-papel para o meio digital - computacional), através da implantação de sistemas CAD 3D no processo projetual de maneira a minimizar o impacto no ambiente de trabalho.

Palavras-chave: Desenho Técnico, CAD, Projeto

Abstract

SPECK, Henderson José. **Proposta de método para facilitar a mudança das técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (CAD) para empresas de engenharia de pequeno e médio porte.** Florianópolis, 2005. 172p + xiii. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. UFSC, 2005.

This work aims to show a study of CAD (Computer Aided Design) systems implementation on engineering enterprises. It shows the evolution of project techniques since the traditional technical design to the utilization of contemporaneous CAD systems. It also seeks based on methodological proceedings, to establish parameters whose should be criteriously analyzed for a progressive implementation of CAD systems in the process of the projects in the context of low-middle portage companies. Thus, through of interviews, documental analysis, questionnaires and observations, intends to identify, to stratify and to define the referring basic questions, the changes in the project environment and costs and benefits of this process in these companies. A method that will be able to serve as reference for studies of viabilizacion the process of change the traditional (technical drawing environment 2D - paper to the digital way - computational), through the implantation of systems 3D CAD in the projetual process in way to minimize the impact in the work environment.

Key-words: Technical drawing, CAD, project.

Sumário

| | |
|--|-------|
| Resumo | vi |
| Abstract | vii |
| Lista de Figuras | xi |
| Lista de Quadros | xii |
| Acrônimos | xiii |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Considerações gerais | 1 |
| 1.2 Justificativa | 3 |
| 1.3 Problema de pesquisa | 4 |
| 1.4 Hipótese | 4 |
| 1.5 Objetivos | 4 |
| 1.5.1 Objetivo geral | 4 |
| 1.5.2 Objetivos específicos | 4 |
| 1.6 Projeto de pesquisa | 5 |
| 1.7 Metodologia | 5 |
| 1.8 Contribuições do trabalho | 6 |
| 1.8.1 Originalidade | 6 |
| 1.8.2 Relevância | 6 |
| 1.9 Estrutura do trabalho | 6 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 8 |
| 2.1 Histórico do desenho | 8 |
| 2.2 A importância do desenho técnico | 12 |
| 2.3 Histórico do computador | 15 |
| 2.3.1 A revolução industrial e a automatização | 16 |
| 2.3.2 Cartão perfurado | 17 |
| 2.3.3 A válvula, o transistor e o circuito integrado | 18 |
| 2.4 História da computação gráfica | 20 |
| 2.5 Histórico do CAD | 21 |
| 2.6 Histórico das máquinas ferramentas CNC | 23 |
| 2.6.1 Planejamento de processo assistido por computador (CAPP) | 24 |
| 2.6.2 Manufatura assistida por computador (CAM) | 25 |
| 2.6.3 CNC | 25 |
| 2.6.3.1 Linguagem de programação para máquinas CNC | 25 |
| 2.6.3.2 Tipos de programação | 26 |
| 2.6.3.3 Aplicação dos sistemas CAD/CAM | 27 |
| 2.7 História da prototipagem rápida | 28 |
| 2.7.1 História e aplicações | 30 |
| 2.7.2 Técnicas | 32 |
| 2.8 Modelagem sólida | 34 |
| 2.8.1 Definições de modelagem sólida | 35 |
| 2.8.2 Definições de modelagem paramétrica | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 2.9 Previsões para o futuro | 38 |
| 2.10 Tipos de modelagem 3D | 39 |
| 2.10.1 Introdução | 39 |
| 2.10.2 Tipos de modelagem | 40 |
| 2.10.2.1 Modelagem <i>wireframe</i> | 40 |
| 2.10.2.1.1 Processo de modelamento <i>wireframe</i> | 40 |
| 2.10.2.1.2 Aplicações de modelagem <i>wireframe</i> | 41 |
| 2.10.2.2 Modelagem de superfícies | 42 |
| 2.10.2.2.1 Processo de modelagem com superfície | 43 |
| 2.10.2.3 Modelagem sólida | 45 |
| 2.10.2.3.1 Processo de modelagem sólida constructive solid geometry (csg) | 47 |
| 2.10.2.3.2 Capacidade de modelagem sólida constructive solid geometry (CSG) | 48 |
| 2.10.3 Introdução a Boundary representation (B-Rep) | 49 |
| 2.10.4 Processo de modelagem sólida B-Rep (Boundary Representation) . | 49 |
| 2.10.5 Introdução ao processo de modelagem sólida híbrida | 50 |
| 2.10.6 Processo de modelagem sólida baseada em <i>features</i> | 51 |
| 2.10.7 Modelagem sólida paramétrica | 52 |
| 2.11 Projeto auxiliado por computador | 53 |
| 2.11.1 Processo de projeto | 53 |
| 2.11.2 Conceito de sistema CAD | 56 |
| 2.11.3 Estrutura de um sistema CAD | 58 |
| 2.11.3.1 Modelo | 58 |
| 2.11.4 Campos de aplicação | 60 |
| 2.11.5 Fundamentos | 61 |
| 2.11.6 Evolução | 62 |
| 2.11.7 Vantagens | 63 |
| 2.11.8 Desvantagens | 65 |
| 3 SISTEMAS CAD APLICADOS À ENGENHARIA | 66 |
| 3.1 O computador na engenharia | 66 |
| 3.1.1 O desenho na era da informática | 67 |
| 3.1.2 Editores gráficos (sistemas CAD-2D) | 69 |
| 3.1.3 Modeladores geométricos tridimensionais (sistemas CAD-3D) | 70 |
| 3.1.4 O novo ambiente de projeto | 71 |
| 3.2 A globalização da engenharia | 73 |
| 3.3 Prototipagem rápida | 74 |
| 3.4 A criação de novos produtos e a tecnologia CAD/CAM/CAE | 79 |
|3.5 O CAD 3D | 80 |
| 3.6 O CAD | 82 |
| 3.7 Novas perspectivas para aplicações de CAD | 83 |
| 3.8 3D na engenharia | 85 |
| 3.9 A integração no futuro será num nível mais alto | 86 |
| 3.9.1 Projetistas e fabricantes irão compartilhar informações de forma mais interativa | 86 |
| 3.10 Integração de sólidos e superfícies | 87 |
| 3.10.1 Integração das duas técnicas permite obter modelos virtuais mais confiáveis e reduzir prazos de projeto | 87 |

| | |
|--|------------|
| 4 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA | 90 |
| 4.1 Considerações iniciais | 90 |
| 4.2 Propósito da pesquisa | 91 |
| 4.3 Método científico | 91 |
| 4.4 Seleção dos sujeitos | 92 |
| 4.5 Questionários | 92 |
| 4.5.1 Elaboração do questionário | 95 |
| 4.6 Entrevistas | 95 |
| 4.7 Análise documental | 96 |
| 5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS | 98 |
| 5.1 Entrevistas | 98 |
| 5.2 Questionários | 113 |
| 5.2.1 Caracterização da empresa | 114 |
| 5.2.2 Caracterização do informante | 115 |
| 5.2.3 Caracterização da área de projetos | 118 |
| 5.2.4 Processo de mudança | 119 |
| 6 PRANCHETA VERSUS CAD | 132 |
| 6.1 Implantação de sistemas CAD em empresas de engenharia em geral | 132 |
| 6.2 Utilização de ferramentas computacionais no desenvolvimento de produtos | 134 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 147 |
| 7.1 Conclusões | 148 |
| 7.2 Sugestões para futuros trabalhos | 151 |
| 8 REFERÊNCIAS | 152 |
| 9 APÊNDICES | 158 |
| 9.1 Questionário | 159 |
| 9.2 Entrevista | 163 |
| 9.3 Depoimentos | 164 |
| 9.4 Gráfico das respostas referentes às questões 02 a 15 das entrevistas | 170 |
| 9.5 Gráficos das respostas referentes às questões entre 18 e 35 dos questionários | 171 |
| 9.6 Tabela complementar para informações referentes a perguntas do questionário que não puderam ser tabuladas | 172 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Caverna de Altamira | 8 |
| Figura 2: Caverna de Montinac-Lascaux | 9 |
| Figura 3: Máquinas de Leibnitz | 17 |
| Figura 4: Tear de Jacquard | 16 |
| Figura 5: Mark I | 18 |
| Figura 6: UNIVAC I | 19 |
| Figura 7: Máquina de prototipagem rápida | 28 |
| Figura 8: Estereolitografia | 30 |
| Figura 9: Modelagem <i>Wireframe</i> | 41 |
| Figura 10: Modelagem de superfície no <i>software</i> SolidWorks | 44 |
| Figura 11: Modelagem de superfície no <i>software</i> SolidWorks com shade | 45 |
| Figura 12: Modelagem sólida construída no <i>software</i> SolidWorks | 46 |
| Figura 13: Modelagem sólida CSG | 49 |
| Figura 14: Modelagem sólida CSG B-Rep (Boundary Representation) | 50 |
| Figura 15: Modelagem Sólida baseada em <i>features</i> desenvolvida no aplicativo CAD 3D <i>software</i> SolidWorks e caixa da árvore de gerenciamento do processo de modelagem | 52 |
| Figura 16: Modelagem Sólida baseada em <i>features</i> desenvolvida no aplicativo CAD 3D <i>software</i> SolidWorks e caixa da árvore de gerenciamento do processo de modelagem | 53 |
| Figura 17: Processo clássico de projeto | 55 |
| Figura 18: Processo de projeto usando uma ferramenta CAD. A área sombreada mostra a abrangência do sistema CAD | 57 |
| Figura 19: Esquema geral de um sistema CAD | 59 |

Lista de Quadros

| | |
|--|-----|
| Quadro 1: Um resumo da evolução do CNC | 24 |
| Quadro 2: Prancheta versus CAD | 138 |

Acrônimos

| | |
|--------|---|
| IHC | Interação Homem-Computador |
| 2D | Bi-dimensional (Duas Dimensões) |
| 3D | Tri-dimensional (Três Dimensões) |
| APT | Automatically programmed tools |
| AME | Advanced modeling extension |
| B-REP | Boundary representation |
| CAD | Computer Aided Drawing/Design |
| CAE | Computer aided engineering |
| CAM | Computer aided manufacturing |
| CAPP | Computer aided process planning |
| CI | Circuit integrator |
| CIM | Computer integrated manufacturing |
| CNC | Computerized numerical control |
| CSG | Constructive solid geometry |
| DSPC | Direct shell production casting |
| EOS | Eletro optical systems |
| FDM | Fused deposition modeling |
| GM | General Motors |
| ISO | International Organization for Standardizing |
| LOM | Laminated object manufacturing |
| LSI | Large scale integration |
| MDT | Mechanical Desktop |
| MIT | Massachussets Institute of Technology |
| NURBS | Nom-uniform rational b-splines |
| NBR | Norma Brasileira |
| OLE | Object Link Embeded |
| PC | Personal computer |
| PDF | Portable Document Format |
| SDLPRT | SolidWork Part |
| SGC | Solid ground curing |
| SL | Stereolithography |
| SLS | Selective laser sintering |
| SW | Solidworks |
| UCS | User coordinate system |
| VDAFS | Verband der deutschen automobilindustrie flachenschnittstelle |
| VRML | Virtual Reality Modeling Language |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

No século XIX, a Revolução Industrial melhorou consideravelmente os poderes físicos do homem, na medida em que substituiu por máquinas determinadas tarefas que demandavam grande esforço físico. Atualmente assistimos à uma outra revolução, fundamentada no uso de computadores. Estas ferramentas oferecem otimizações significativas para as capacidades mentais do homem. Estamos familiarizados com a utilização dos computadores nos negócios, por exemplo, em bancos, na contabilidade de companhias, nas folhas de pagamento, etc. Essa contribuição dos computadores à vida contemporânea do homem decorre de sua extrema facilidade e desempenho no trabalho com grande capacidade de armazenagem de informações e na capacidade de cálculos (BESANT, 1985).

A aplicação de computador nas várias tarefas do cotidiano das pessoas quase sempre depende do método de comunicação. Na maioria dos negócios ou nas aplicações científicas, um terminal (teclado + monitor de vídeo) semelhante à uma máquina de escrever convencional são utilizados como dispositivos de entrada e saída de dados para uma central de processamento. Entretanto, em aplicações gráficas como artes, engenharia ou arquitetura, o terminal por si só não é um dispositivo adequado de comunicações. Isto se explica pelo fato de que nestas áreas as informações são transmitidas normalmente em forma de desenhos (Idem)..

Atualmente são disponibilizadas as ferramentas denominadas CAD – termo derivado de *Computer Aided Design*, que representa o desenho ou projeto auxiliado por computador. Sendo uma ferramenta de auxílio ao desenho ou projeto, tornou quase obsoletas as ferramentas tradicionais de desenho para uso restrito em determinadas áreas.

Nas duas últimas décadas, oitenta e noventa, o CAD tem sido a ferramenta mais utilizada nas representações gráficas, pois possibilita maior precisão, rapidez e facilidade de comunicação entre os diversos setores produtivos. Inicialmente o CAD

foi muito utilizado para representar desenhos em 2D, no entanto com o advento dos *softwares* com modeladores sólidos paramétricos, os projetistas de engenharia utilizam cada vez mais as ferramentas no ambiente de projeto 3D. Estas ferramentas facilitam a visualização dos modelos e permitem obter as projeções ortográficas em 2D, o dimensionamento automático e a representação das tolerâncias. Além disto, pode-se obter das peças em 3D, dados característicos como: volume, simulações de esforços e propriedades construtivas. Os modeladores paramétricos também permitem a correção de erros no modelo em 3D, de tal forma, que as projeções ortográficas (2D) são atualizadas e corrigidas simultaneamente. Pode-se observar que, a medida que surgem novas ferramentas para execução de desenhos e projetos, verifica-se que existem alguns problemas que são os custos de atualização de *software* e *hardware*, e a dificuldade de conscientização dos usuários, principalmente, para avaliar as vantagens e desvantagens no uso destas ferramentas. Em razão destas observações, pode-se concluir que em função da rapidez nos processos construtivos onde se encontram integrados (CAD, CAM, CAE), praticamente existe pouco espaço para desenhos realizados com auxílio do grafite, nanquim, etc., em papel vegetal ou outro meio físico, onde a dificuldade de correção de erros é bem maior (Idem).

A Revolução Industrial propiciou um grande avanço no desenvolvimento do desenho técnico e aumentou significativamente sua importância, no entanto, pode-se prever que a revolução da informática poderá propiciar uma crescente diminuição deste tipo de desenho, devido à possibilidade de se construir diretamente um produto a partir do seu modelo em 3D, através de um processo computacional que associa o processo de criação e modelagem diretamente ao processo construtivo, em máquina de controle numérico – CNC. Portanto, sem a necessidade da existência prévia de um desenho técnico nos moldes tradicionais (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 16 jun. 2004).

A partir da modelagem em 3D dos objetos, chega-se facilmente a criação de ambientes inteiros totalmente virtuais, onde é possível não apenas avaliar a interação dos vários componentes entre si mas também a interação do homem com este ambiente.

O futuro provavelmente deve reservar para os profissionais de projeto em engenharia possibilidades fantásticas, tais como, a realidade virtual, que poderá vir a ser utilizada como uma ferramenta produtiva nas mais diversas áreas e aplicações (Idem).

Além do alto custo para implantação dos sistemas CAD nas indústrias e por mais que as empresas busquem se equipar, ainda assim, esbarram no componente humano. Os maiores relacionam-se a resistência à mudança de hábitos de seus desenhistas pelos mais diversos fatores, assim como a pouca disponibilidade de bibliografia existente sobre o assunto (<http://www.teknikal.hpg.ig.com.br/cad.html>. Acessado em 27 maio 2004).

Uma vez vencido o impacto inicial, o treinamento e a conscientização do pessoal deve ser prioridade. Assim, novos caminhos são descobertos, como a agilidade de informações, a redução dos custos de cada projeto individual, na medida em que os prazos tornam-se menores para a sua conclusão, além do aumento da produtividade, desde a concepção inicial de um projeto, passando pelo re-projeto até sua finalização, melhorando consideravelmente sua qualidade (Idem).

Portanto, pode-se afirmar que atualmente não se imagina empresas de engenharia (civil, elétrica e mecânica) desde as de pequeno porte até as de médio porte que não pensem em incorporar nas suas áreas de desenho e projeto ferramentas CAD 2D e 3D, tendo em vista as possibilidades de obter maior eficiência, competitividade e portanto, melhores condições de se manterem no mercado nas mais diversas etapas de projeto.

1.2 Justificativa

Considerando as empresas que trabalham com processo de projeto ainda utilizando ferramentas tradicionais (prancheta) ou estão em fase de transição para ferramentas computacionais (sistemas CAD), pode-se dizer que elas passam por dificuldades tais como:

— Atrasos na conclusão e entrega de projetos;

- Baixa qualidade dos projetos;
- Necessidade freqüente de re-projeto;
- Necessitam de maior tempo para confecção e execução dos projetos;
- As novas ferramentas possuem um custo elevado (*software e hardware*);
- Necessidade de treinamento de pessoal.

Faz-se necessário um estudo para elaboração de uma proposta de método para facilitar a mudança das técnicas de projeto: da prancheta à modelagem sólida (CAD).

1.3 Problema de pesquisa

Quais os parâmetros fundamentais a serem considerados para a implantação das ferramentas CAD em empresas de engenharia de pequeno e médio porte?

1.4 Hipótese

É possível implantar um processo de mudança dos sistemas tradicionais de projeto para CAD que cause o menor impacto possível nos contextos econômico e operacional nas empresas de engenharia de pequeno e médio porte.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo geral

Propor um método para facilitar o processo de mudança no desenvolvimento de projeto nas empresas de engenharia, migrando-se do sistema tradicional de representação em meio físico, prancheta, para o meio digital, utilizando-se CAD.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analisar o processo de projeto de cada empresa avaliada nesta pesquisa;

- Analisar as mudanças ocorridas no ambiente de trabalho quando da passagem da prancheta para o CAD;
- Fazer um levantamento do impacto econômico no processo de mudança;
- Avaliar o impacto na produtividade;
- Analisar o custo/benefício da mudança;
- Identificar problemas no desenho elaborado na prancheta;
- Analisar o impacto das novas ferramentas de desenho para elaboração de projetos;
- Comparar a precisão, o nível de acabamento, os retoques e as modificações entre o desenho convencional (prancheta) e o elaborado por CAD;
- Identificar as dificuldades de operacionalização do novo sistema;
- Apresentar um relatório final de avaliação sobre os dados coletados;

1.6 Projeto de pesquisa

Propor um método de mudança no processo de projeto com o menor impacto no ambiente de trabalho tendo em vista as novas ferramentas disponíveis no mercado.

1.7 Metodologia

Para realização desta pesquisa serão empregadas três (3) técnicas destinadas à coleta de dados e informações chamadas de “Técnicas de Levantamento”:

- Entrevista estruturada;
- Pesquisa documental;
- Questionário.

Considerando a pesquisa aplicada como sendo uma investigação planejada e racional que procura contemplar todos os elementos e recursos da metodologia científica para identificar e analisar os fatores determinantes ou causais, ela deve ter validade e fidedignidade, possibilitando o emprego de técnicas de levantamento de

dados com eficiência, para posterior análise e interpretação de dados (LABES, 1998).

Este procedimento deve conduzir a obter resultados satisfatórios no estudo.

1.8 Contribuições do trabalho

A contribuição deste trabalho de pesquisa para doutoramento é o de colaborar com empresas de engenharia e com a comunidade científica no que tange ao impacto que as ferramentas CAD 3D certamente provocarão com a sua inclusão nos ambientes de projeto que anteriormente utilizavam ferramentas de desenho tradicionais, propondo uma metodologia que amenize este impacto.

1.8.1 Originalidade

Não encontramos na revisão bibliográfica trabalho semelhante ao proposto neste projeto com base em pesquisas em livros, banco de teses e Internet.

1.8.2 Relevância

Esta pesquisa apresenta como relevância o desenvolvimento de critérios afim de estabelecer procedimentos metodológicos para implantação de sistemas CAD em empresas de engenharia.

1.9 Estrutura do trabalho

No primeiro capítulo, é apresentado as considerações gerais, justifica o tema da tese, formula o problema da pesquisa, a hipótese a ser corroborada, o objetivo geral e os objetivos específicos a serem atingidos. São também abordados o método científico empregado, o processo de estudo, a relevância e a originalidade do trabalho.

No capítulo dois, são abordadas considerações relevantes sobre a história do desenho e do computador, a Revolução Industrial e a automatização, projeto auxiliado por computador, resumo histórico do controle numérico (CNC), sistemas CAD/CAM e prototipagem rápida bem como considerações sobre modelagem sólida e modelagem paramétrica. Faz-se também menção ao processo de projeto, evolução das ferramentas, sistemas CAD (Modelagem Sólida), aspectos econômicos e ergonômicos, impacto na produtividade.

No capítulo três, apresenta-se uma retrospectiva dos últimos 10 (dez) anos referentes à evolução das ferramentas de CAD através de relatos de designers e engenheiros das mais diversas áreas (ensino, processo de projeto, representantes de *software* de CAD, consultores da área de projeto, além de outros.

No capítulo quatro, faz-se uma abordagem a respeito do processo de coleta dos dados (Questionário/Entrevista e análise documental) apresentando e discutindo cada uma das ferramentas utilizadas.

No capítulo cinco, é apresentada a análise e interpretação dos dados coletados através dos métodos e técnicas abordadas no capítulo 4 deste estudo.

No capítulo seis, aborda-se a formatação do método para a implantação de sistemas CAD 3D em empresas de engenharia

Nos capítulos sete, oito e nove são apresentadas as considerações finais, conclusões, referências e os apêndices deste estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Histórico do desenho

O desenho pode ser entendido como uma das primeiras formas de comunicação e de expressão do homem. Já na pré-história registros eram feitos usando-se as rochas como telas, para representar objetos tridimensionais (ESTEPHANIO, 1984).

Consta que os primeiros desenhos realizados pelo homem pré-histórico foram encontrados por acaso em 1880, na caverna de Altamira, Espanha, por um fidalgo espanhol, ver figura1. Segundo os estudiosos e historiadores de arte, a caverna de Altamira significa “a Capela Sistina da Pré-história”, devido a riqueza e variedade de pinturas e afrescos ali encontrados. Nas paredes e teto dessa caverna estão desenhados coloridos bisões, cavalos e outros animais, transparecendo estarem parados ou em movimento. (ROMEU, 1998).

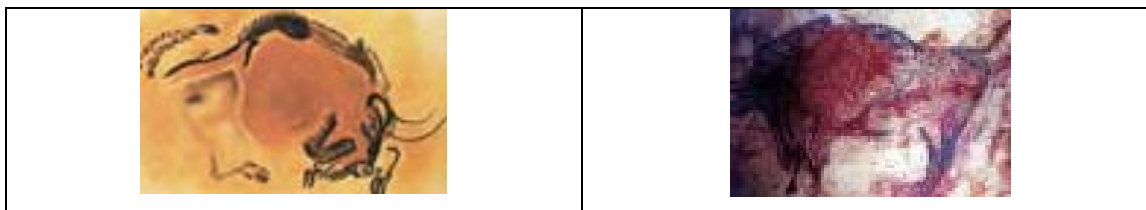


Figura 1: Caverna de Altamira
Fonte: <http://www.marel.pro.br/introduc.htm>

Em 1940 foram descobertas as cavernas de Montinac-Lascaux, ver figura 2, na França, tão importantes quanto às de Altamira, onde se encontram também gravuras de animais, destacando-se a de um boi que atinge aproximadamente cinco metros de comprimento. Datam de muitos séculos as primeiras tentativas de representação de desenhos técnicos. Assim, chegaram até nossos dias testemunhos de “desenhos de projeto” executados pelos egípcios para construção das pirâmides ou pelos povos da mesopotâmia para a construção de monumentos e

edifícios. São bem conhecidos também os desenhos executados pelos romanos para a construção de edifícios, aquedutos, fortalezas etc. (ROMEU, 1998).



Figura 2: Caverna de Montinac-Lascaux
Fonte: <http://vm.kemsu.ru/en/palaeolith/lascaux.html>

O principal problema que permaneceu durante muito tempo na execução dos desenhos técnicos foi a dificuldade em representar com rigor objetos tridimensionais sobre superfícies planas. Só no século XV Leonardo da Vinci trouxe algum progresso aos métodos de representação. Ele realizou um estudo da teoria do desenho e pintura, efetuou numerosos desenhos dos seus inventos e promoveu a divulgação dos seus métodos, que felizmente encontraram continuadores. As técnicas de representação em desenho viriam a sofrer novo e importante impulso no século XVIII através de Gaspar Monge, que, ao sistematizar a Geometria Descritiva lançou simultaneamente as bases dos sistemas de representação que ainda hoje são utilizados (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br>. Acessado em 16 jun. 2003).

No Egito antigo, os artistas usavam a técnica do afresco. O desenho era figurativo, representava a imagem na sua verdadeira realidade visual, não alterando nem estilizando. Estas representações gráficas obedeciam a norma da frontalidade, e as imagens mostravam-se deformadas. Na representação do rosto de perfil, os olhos se encontravam na frente. A mesma coisa ocorre com o tórax, enquanto que as pernas e os pés estão de perfil. Pensou-se, no início, que se tratasse de ingenuidade ou incapacidade. No entanto isso não seria possível já que o povo era tão adiantado em outras atividades e conhecimentos. A imagem dos deuses, dos reis, imperadores e governantes, em suma dos poderosos exigia o máximo de reverência das pessoas que os contemplavam (ROMEU, 1998).

O sistema de representação por projeções ortogonais sobre planos dispostos perpendicularmente entre si, constituindo os chamados diedros, foi primeiramente solucionado por Gaspar Monge, no século XVIII, e passou a ser utilizado para a resolução de problemas geométricos. Toda a base de Geometria

Descritiva está fundamentada nos conceitos de Gaspar Monge e sobre eles se baseia todo o desenho industrial moderno (HOELSCHER, 1978).

No Egito não era usada a perspectiva científica. Para representar o espaço, utilizavam o processo também usado por outros povos antigos: as figuras eram sobrepostas ou eram cenas em faixas horizontais. Em suas pinturas havia a falta do claro-escuro, ou seja, as gradações de luz e sombra para dar o efeito de volume (ROMEU, 1998).

No entanto, a partir do século V a.C., com Polignoto de Tassos, o desenho é libertado do frontalismo e da posição exclusivamente de perfil, apresentando os rostos de três-quartos e de frente, procurando a representação dos estados da alma, que iria ter influência tanto na pintura de vasos quanto nas esculturas decorativas (Idem).

Através dos séculos os desenhistas e pintores vêm desenvolvendo técnicas, desde as representações em perspectivas deformadas e imperfeitas do homem primitivo, cruzando um período de desenhos praticamente artísticos, até chegar o período atual dos bem representados e normalizados tipos de desenho industrial (Idem).

No fim do século XV já havia desenhistas aptos a executar elevações reais. Um dos exemplos mais antigos da utilização da planta baixa e da elevação faz parte de um álbum de desenhos na Livraria do Vaticano, desenhado por Giuliano de Sangallo. Sendo que a data assinalada na página inicial é de 1465, mas o álbum na realidade não foi terminado antes de 1490 (HOELSCHER, 1978).

A constatação de que crianças de pouca idade se expressam com facilidade através do desenho, semelhante aos homens primitivos prova a espontaneidade e facilidade de representação e interpretação do desenho (ESTEPHANIO, 1984).

O desenho participou diretamente na evolução da humanidade diversificando-se e especializando-se em função de suas necessidades de aplicações.

Segundo Estephano (1984) baseado no seu caráter descritivo, surgiu a escrita. Em diferentes épocas os recursos utilizados têm sido os mais variados. Na Mesopotâmia, por exemplo, os desenhos de mapas e plantas das cidades eram traçados em placas de argila. Cem anos antes de Cristo traçava-se em pergaminhos com auxílio de bastões de chumbo.

Por volta do século XVI, após a utilização do chumbo junto ao estanho e a prata, chegou-se ao grafite. O mesmo, na época, era envolvido por porta-minas artisticamente trabalhado.

No século XVII, na Alemanha, foi desenvolvida a idéia de colar tiras de grafite em madeira, proporcionando maior firmeza para o traçado e fazendo surgir então o lápis (Idem).

Em 1795, o francês Conte aperfeiçoou o uso do grafite por meio de uma mistura de grafite moído com cerâmica desenlameada e posteriormente submetida a um processo de estiramento por pressão. Dependendo da proporção de grafite e cerâmica eram obtidos diferentes graus de pureza.

O grande valor de seus aspectos estéticos e formais transformou-o em desenho artístico e finalmente o aprimoramento da capacidade de apresentação da forma e de solução de problemas de geometria evoluiu para o “Desenho Técnico”.

Um dos maiores complicadores residia na dificuldade de se demonstrar a volumetria das formas em superfícies planas, problema que foi minimizado no século XV quando Leonardo da Vinci desenvolveu um estudo relativo à teoria do desenho e representou graficamente inúmeros de seus inventos (Estephano, 1984). Desenho técnico é a expressão mais utilizada atualmente para desenhos dos diversos tipos, feitos a nanquim ou a lápis, com exceção daqueles que possam ser classificados como arte pura. O desenho técnico contempla desde a simples representação gráfica de uma peça mecânica em três vistas até o mais completo ábaco ou cálculo gráfico. É realizado em uma folha de papel antecipadamente e criteriosamente escolhida que constitui uma superfície plana delimitada por suas dimensões. Nesta superfície, representa-se o objeto formado, na realidade, por volumes.

O desenho técnico possibilita, portanto, através de um conjunto de linhas, números e representações escritas, emitir dados sobre a função, formato dimensional, forma de trabalho e material de um dado objeto que poderá ser construído sem o contato direto entre o desenhista ou o projetista e o executante.

A finalidade principal do Desenho Técnico é a representação precisa, no plano, das formas do mundo material e, portanto, tridimensional, de modo a possibilitar a construção e constituição espacial das mesmas (BORNANCINI, 1981).

Segundo Estephanio (1984), o desenho técnico representa uma interface de ligação indispensável entre as mais diversas áreas de um projeto industrial, sendo um idioma universal, que difere de qualquer outro pela clareza e precisão, não contendo dúvidas ou dificuldades de leitura e interpretação. Requerem-se do desenho a representação gráfica clara das diversas formas apresentadas com a definição de todos os detalhes de modo que mesmo os operários de menor qualificação consigam realizar o projeto desenhado sem precisar de explicações verbais demoradas, e, normalmente, mal interpretadas.

Alguns eventos colaboraram ainda para que o desenho fosse aceito como um potencial instrumento de autonomia e de desenvolvimento tecnológico, tais como: a Exposição Universal de Desenho, realizada em 1828 na França e a Exposição Industrial de Londres em 1851.

Hoje, o desenho técnico assume uma posição difusa e multidisciplinar e, aliado a importantes recursos, como os computadores, auxilia na produção do mundo material em que vivemos, utilizando-se de uma linguagem normalizada e universal. Das idéias preliminares aos estágios finais de representação, sua aplicação se faz presente em projetos mecânicos; mobiliários; arquitetônicos; aeroespaciais; navais e em inúmeras outras áreas (ESTEPHANIO, 1984).

2.2 A importância do desenho técnico

No seu contexto mais geral, o desenho técnico engloba um conjunto de metodologias e procedimentos necessários ao desenvolvimento e comunicação de projetos, conceitos e idéias e, no seu contexto mais restrito, refere-se à especificação técnica de produtos e sistemas.

O desenvolvimento das tecnologias informáticas e dos sistemas de informação nas duas últimas décadas alterou os processos e métodos de representação gráfica, utilizada pelo Desenho Técnico no contexto industrial. Passou-se rapidamente da régua T e esquadro às máquinas de desenhar, aos programas comerciais de desenho 2D assistido por computador os sistemas CAD e mais recentemente à uma tendência para a utilização generalizada de sistemas de modelação geométrica 3D.

Nestas circunstâncias, na organização do ensino e na elaboração de textos de apoio na área de Desenho Técnico põem-se particulares desafios na forma de conciliar, por um lado, o desenvolvimento de capacidades de expressão e representação gráfica e a sua utilização em atividades criativas e, por outro lado, a aquisição de conhecimentos de natureza tecnológica na área do Desenho Técnico.

No primeiro caso procura-se o desenvolvimento do pensamento criativo e de capacidades de visualização espacial, de transmitir idéias, formas e conceitos através de gráficos muitas vezes executados à mão livre. Esta capacidade constitui uma qualificação de reconhecida importância no exercício da atividade profissional do engenheiro e outros profissionais.

No segundo caso, trata-se do uso das técnicas emergentes de representação geométrica associadas aos temas mais clássicos da descrição técnica de produtos e sistemas e suportadas de acordo com normas técnicas aprovadas internacionalmente. A produção de desenhos de detalhe e para fabricação, incluindo as práticas clássicas de projeções, cortes, dimensionamento, tolerância e anotações diversas, é ainda uma atividade insubstituível na produção de documentação

técnica de produtos para sua fabricação e constituem, em muitos casos, o suporte legal e comercial nas relações com fornecedores.

Importa reconhecer aqui as enormes potencialidades das tecnologias de modelagem geométrica atualmente disponíveis em diversos programas comerciais. Protótipos virtuais são facilmente construídos e visualizados. As estruturas de dados associadas a estes modelos geométricos são facilmente convertidas para outras aplicações de engenharia e os projetos desenvolvidos podem ser verificados em termos de folgas, interferências e choques em situações de movimento relativo entre componentes e analisados do ponto de vista estrutural, escoamento de fluidos e transferência de calor (http://www.dem.ist.utl.pt/~m_desl/images/aula1.jpg. Acessado em 3 out. 2003).

Na Engenharia Mecânica, pelo seu caráter multidisciplinar que engloba áreas tão diversas como o projeto assistido por computador, o design industrial e desenvolvimento de produtos, a energia e o ambiente, a automação industrial e a robótica, a fabricação assistida por computador, observa-se que a relevância do CAD 3D e da informática em geral são fundamentais. Na prática, as disciplinas de desenho funcionam como disciplinas de introdução, em que não só os tópicos do desenho técnico são analisados, mas um conjunto diversificado de assuntos, tais como: os materiais, o design industrial, os processos de fabricação, os requisitos para a fabricação, os elementos e componentes normalizados utilizados nos produtos (peças roscadas, engrenagens, motores, etc.).

Uma vez idealizado o produto, os seus componentes devem ser modelados e dimensionados. Os atuais aplicativos de CAD 3D são ferramentas fundamentais para isso. Possibilitam modelar as peças e os conjuntos tridimensionalmente, permitindo verificar a funcionalidade dos produtos, interferências entre componentes, a cinemática de peças móveis, entre outros.

Os modelos de CAD 3D podem migrar para programas de simulação, tendo em vista o seu dimensionamento e especificação em relação a um conjunto de requisitos como: a resistência estrutural, a aerodinâmica, as vibrações ou a transmissão de calor.

Finalmente, no que diz respeito a fabricação, os modelos CAD 3D continuam a ter uma importância fundamental. A partir dos modelos digitais as operações de fabricação podem ser simuladas computacionalmente. Protótipos dos produtos podem ser fabricados a partir dos modelos CAD usando prototipagem rápida ou mesmo algumas peças podem ser fabricadas diretamente a partir dos modelos computacionais usando máquinas de comando numérico automáticas. No entanto, embora com tendência para diminuir a quantidade de desenhos, muitos dos processos de fabricação ainda requerem os desenhos das peças para que estas possam ser fabricadas. Os programas de CAD 3D permitem obter os desenhos técnicos de uma forma bastante simples, mas que requerem que os intervenientes no processo tenham conhecimentos profundos acerca das representações do desenho técnico, nomeadamente a interpretação de vistas, das representações de tolerância, acabamentos superficiais, soldas, peças roscadas, elementos de máquinas, entre outros (http://www.dem.ist.utl.pt/~m_desl/Intro.html. Acessado em 2 out.2003).

2.3 Histórico do computador

Segundo (ROMEY, 1998), é atribuído ao matemático francês Blaise Pascal (XVII), o desenvolvimento, em 1667, de uma máquina capaz de realizar operações de adição e subtração. A máquina inventada por Pascal foi a primeira a mostrar a característica de armazenar os cálculos efetuados.

No ano anterior da invenção de Pascal, nascia o alemão Leibnitz, a quem a matemática deve muitas contribuições. Leibnitz é o responsável pelo aperfeiçoamento da máquina rudimentar de cálculo e pelo desenvolvimento de um novo sistema numérico, o sistema binário. Os dois primeiros dispositivos mantêm entre si a característica comum de serem construídos utilizando engrenagens numeradas de zero a nove que, quando acionadas, realizavam operações mudando os valores de posição dos algarismos indicados em cada uma delas. A máquina de Leibnitz foi construída para operar na base binária, realizando inclusive multiplicações e divisões, mantendo, porém, a mesma arquitetura mecânica.

Máquinas mecânicas desse tipo foram muito utilizadas até aproximadamente 1960 (ROMEY, 1998). Ver figura 3.

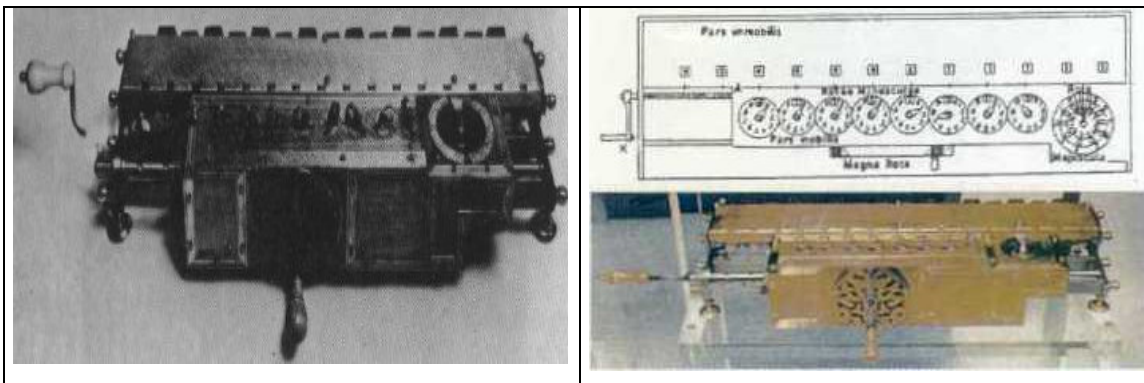


Figura 3: Máquina de Leibnitz

Fonte: <http://piano.dsi.uminho.pt/museuv/1622mpascal.html>

2.3.1 A revolução industrial e a automatização

Segundo YOUSSEF (1985), em 1804 o tecelão francês Joseph-Marie Jacquard construiu em Lyon um tear automático controlado por seqüências de cartões perfurados. O tear de Jacquard controlava, a partir de um “programa” definido por cartões perfurados, o movimento das agulhas e pinças, que por sua vez determinavam os fios a serem trançados. É notável o fato de que, pela primeira vez, utilizou-se a idéia de programação a partir do cartão perfurado. Ver figura 4.

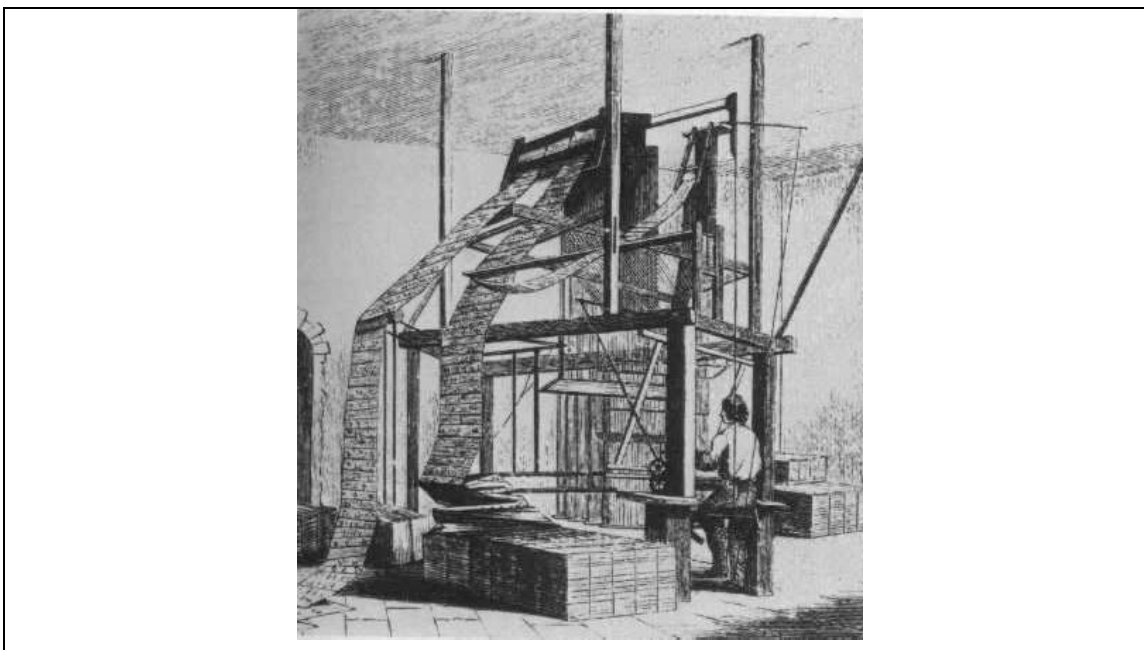


Figura 4: Tear de Jacquard

Fonte: <http://piano.dsi.uminho.pt/museuv/1622tjacquard.html>

Alguns anos após o aparecimento do tear de Jacquard, são formulados os princípios gerais que norteiam os modernos sistemas de processamentos de dados. Esses princípios foram enunciados por Charles Babbage, em 1833. Nascido em 1792, o matemático Charles Babbage participava de um grupo de jovens que constituía a “Analytical Society”, cujo maior objetivo era deixar mais sábio o mundo que haviam encontrado. É atribuído a ele a exploração e difusão da informática, acelerando a concepção dos modernos computadores.

A máquina concebida por Babbage deixou, já no século XIX, enraizadas as idéias básicas do processamento de dados. Os princípios da máquina de Babbage são os seguintes:

- Um programa previamente elaborado deve comandar a máquina;
- A máquina deve ser capaz de armazenar resultados intermediários para posterior aproveitamento;
- A máquina deve possuir dispositivos de entrada e saída de dados e instruções.
- As operações devem ser executadas de forma cíclica, aproveitando os resultados armazenados na memória;
- A máquina deve ser capaz de tomar decisões e escolher cursos alternativos de ação (YOUSSEF, 1985).

2.3.2 Cartão perfurado

No fim do século XIX a técnica de processamento de dados ensaiava seus primeiros passos em direção ao que conhecemos nos dias atuais. O grande desenvolvimento na sistematização do processamento de dados foi realizado por Herman Hollerith (1860-1929) durante o censo demográfico dos EUA de 1890. Utilizando a idéia do cartão de Jackard, Hollerith procurou formas de mecanizar os trabalhos de apuração, iniciando-se assim, em 1885, a construção de uma máquina de cartões perfurados (YOUSSEF, 1985).

2.3.3 A válvula, o transistor e o circuito integrado

Na década de trinta foram realizadas as primeiras experiências para a construção de calculadoras baseadas em relês eletromagnéticos. Essas calculadoras, construídas por Konrad Zuse na Alemanha, eram comandadas por programas perfurados em fita de papel. Também na década de 30, nos EUA, Howard Aiken começa a projeto de fabricação de uma calculadora automática controlada por programa, construída com relês. Essa calculadora foi finalizada em 1944, recebendo o nome de Mark I (YOUSSEF, 1985). Ver figura 5.

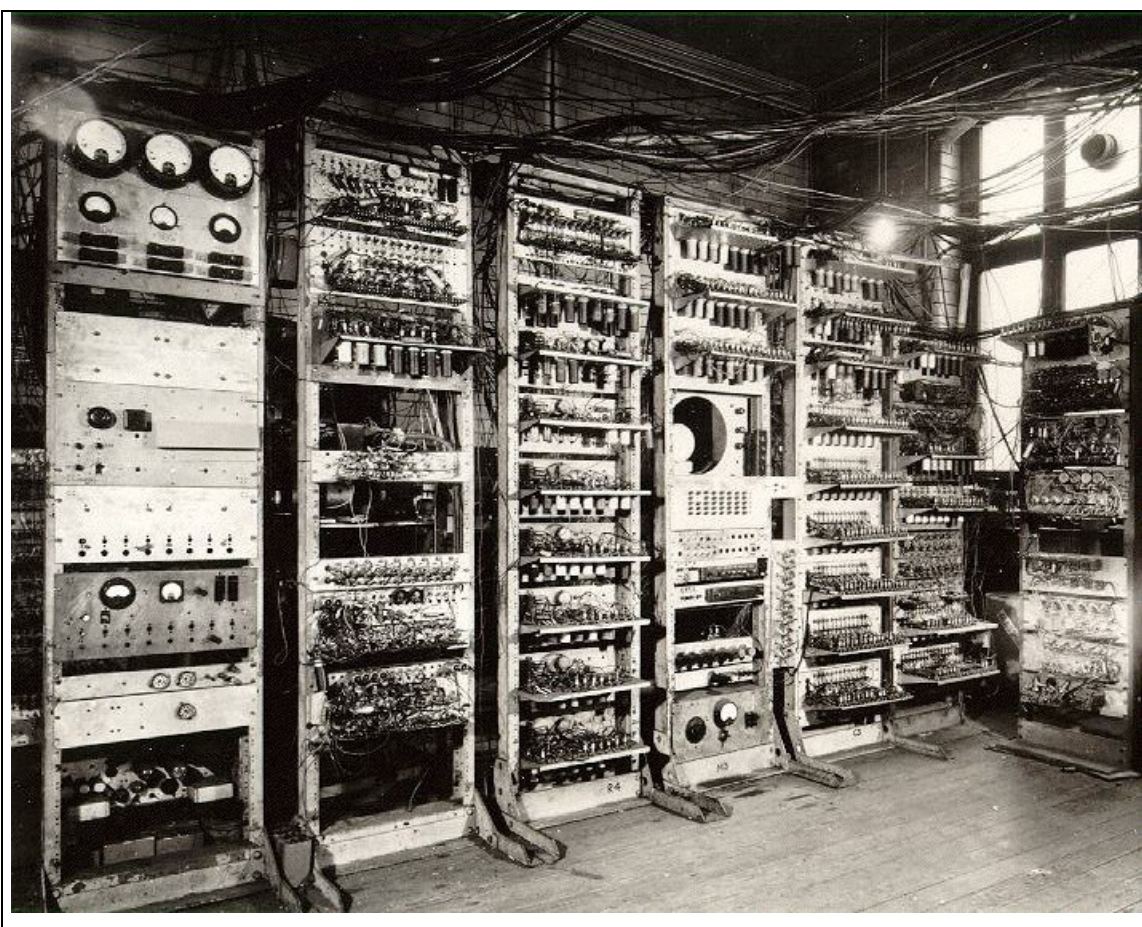


Figura 5: Mark I

Fonte: <http://piano.dsi.uminho.pt/museuv/1946mmark1.html>

Um grande salto qualitativo foi dado entre 1943 e 1946, data do funcionamento daquele que é considerado o primeiro computador eletrônico. O Eletronic Numeric Integrator and Calculator (ENIAC), construído nos EUA, possuía uma arquitetura diferente da do Mark I, pois se baseava no uso de válvulas ao invés

de relês, o que aumentava muito sua velocidade de realização de cálculos (YOUSSEF, 1985).

A partir de 1951, o uso extensivo de computadores já era realidade com o UNIVAC I, começando o que foi chamado de primeira geração de computadores. Dessa maneira, a primeira geração é comumente caracterizada pelo uso de válvulas. Ver figura 6.

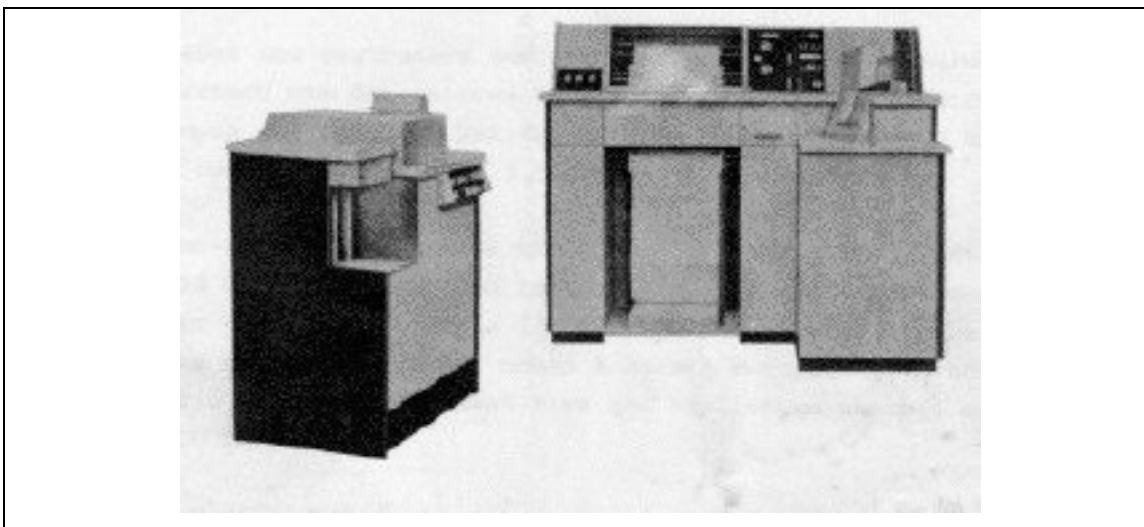


Figura 6: UNIVAC I

Fonte: <http://piano.dsi.uminho.pt/museuv/1960a1969.html>

Ainda na década de cinquenta as pesquisas para o desenvolvimento do transistor trouxeram um novo avanço no desenvolvimento de computadores mais compactos e de menor custo. Como o transistor tem menor custo e tamanho que a válvula substituindo-a com vantagens, tal objetivo foi conseguido, caracterizando assim o que chamamos de computadores de segunda geração (YOUSSEF, 1985).

Com o surgimento da tecnologia de estado sólido, que propiciou o desenvolvimento de microcircuitos, iniciou-se a terceira geração de computadores.

A partir de 1964, observa-se o surgimento dos minicomputadores e dos microcomputadores.

Por volta de 1970 a tecnologia de produção de *chip* com um alto grau de integração Large Scale Integration (LSI) tem como consequência uma maior

compactação e miniaturização dos equipamentos, possibilitando também uma maior capacidade de processamento de informação. Inicia-se a quarta geração de computadores (YOUSSEF, 1985).

Nesta mesma década, a Microsoft desenvolve o sistema MS-DOS para a IBM e em seguida este programa tornou-se praticamente o padrão em todo mundo.

Em 1984 a Apple lança o Macintosh, um microcomputador com um mouse e um monitor de alta resolução. Os vídeos Touch Screen (sensíveis ao toque), chegam ao mercado nesta mesma época.

Bill Gates (1955), fundador da Microsoft, lança no mercado em 1987 o Windows, com um ambiente operacional gráfico que tem por objetivo facilitar a utilização do microcomputador (ROMEY, 1998).

Em 1993 a Intel lança no mercado o microprocessador Pentium, a última geração dos computadores. Em agosto de 1995, a Microsoft lança no mercado o seu novo sistema operacional, o Windows 95. Em agosto de 1998, a Microsoft lança no mercado o seu novo sistema operacional, o Windows 98, evolução do Windows 95. Em fevereiro de 2000, a Microsoft lança no mercado o seu novo sistema operacional, o Windows 2000, evolução do Windows NT (Idem).

2.4 História da computação gráfica

Nos anos cinquenta surge a idéia da computação gráfica interativa: forma de entrada de dados por meio de símbolos gráficos com respostas em tempo real. No Massachusetts Institute of Technology (MIT) são produzidas figuras simples por meio da interface de tubo de raios catódicos (idêntico ao tubo de imagem de um televisor) com um computador (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 10 nov. 2003).

Em 1959, a GM começou a explorar de forma sistemática a computação gráfica nas suas atividades industriais.

A década de sessenta foi o período mais crítico das pesquisas na área de computação gráfica interativa. Na época, o grande passo da pesquisa foi o desenvolvimento do sistema sketchpad, que tornou possível criar desenhos e alterações de objetos de maneira interativa, num tubo de raios catódicos (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 10 nov.2003)

No início dos anos sessenta, o termo CAD do inglês Computer Aided Design ou “Projeto Auxiliado por Computador” começou a ser utilizado para indicar os sistemas gráficos orientados para projetos.

Nos anos setenta as pesquisas desenvolvidas na década anterior começaram a dar frutos. Setores governamentais e industriais passaram a reconhecer a importância da computação gráfica como forma de aumentar a produtividade.

Na década de oitenta, as pesquisas visaram à integração e/ou automatização dos diversos elementos de projeto e manufatura com o objetivo de criar a fábrica do futuro. O foco das pesquisas foi expandir os sistemas (Projeto e Manufatura Auxiliados por Computador - CAD/CAM). Desenvolveu-se também o modelamento geométrico tridimensional com mais aplicações de engenharia (Engenharia Auxiliada por Computador - CAE). Alguns exemplos dessas aplicações são a análise e simulação de mecanismos, o projeto e análise de injeção de moldes e a aplicação do método dos elementos finitos (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 10 nov..2003)

Atualmente, os conceitos de integração total do ambiente produtivo com o uso dos sistemas de comunicação de dados e novas técnicas de gerenciamento estão se disseminando rapidamente. O (Manufatura Integrada por Computador (CIM) já é uma realidade (Idem).

2.5 Histórico do CAD

Nas últimas décadas assistimos a uma segunda revolução: a era dos computadores, nos mais diversos campos em que o homem atua, como por exemplo, negócios, ciência, entretenimento, indústria etc. É surpreendente que o

uso do computador na engenharia, mais especificamente na área de desenho, não tenha acompanhado esse desenvolvimento.

O primeiro passo em direção aos gráficos de computadores foi dado por um sistema chamado SKETCHPAD desenvolvido por Ivan Sutherland, no Massachusetts Institute of Technology (MIT), em 1963.

Esse sistema consistia em um osciloscópio de raios catódicos acionado por um computador Lincoln TX2 onde as informações eram exibidas na tela. Os desenhos podiam ser elaborados na tela, mas o sistema exigia muito recurso, boa potência do computador e era extremamente dispendioso.

A partir daí houve um grande progresso nessa área, o que viabilizou a utilização da unidade de exibição visual (visual display unit-vdu) ou seja, a utilização de gráficos de computadores.

Outra grande evolução foi o tamanho dos computadores, sua diminuição de tamanho, passando pelo minicomputador e agora para o microcomputador, o que viabilizou o baixo custo.

No que tange ao desenho ou desenvolvimento de um projeto, com suas fases de criação ou geração de idéias, formas geométricas, cálculos de desempenho e o processo de fabricação, gradativamente os computadores estão permitindo aos desenhistas industriais substituir o trabalho tradicional em atividades simuladas, utilizando um computador que processe tanto em modelo matemático como analógico.

O emprego da computação gráfica está presente no dia a dia, através de vinhetas usadas pelas televisões, nos efeitos especiais em filmes, nos videogames, simuladores de vôo, desenhos animados, projetos de automóveis, aviões e embarcações, na medicina para diagnósticos, exames e cirurgias, entre outras.

A área da computação gráfica é muito abrangente dentro da engenharia, sendo possível atualmente ver o trabalho da peça em uma máquina através de

movimentos simulados antes mesmo da sua fabricação, ou ainda observar o desgaste apresentado em um material a partir de uma máquina simulada e antecipar a melhor maneira de executá-la. Pode-se também, observar por dentro de um edifício que só existe armazenado na memória do computador.

A maioria dos *software* desenvolvidos para o desenho e o projeto (CAD), apresentam ferramentas capazes de criar o efeito de sombreadimento, iluminação e perspectivas em modelos tridimensionais.

Estas ferramentas propiciam expressar de modo mais realista e amplo a forma e os detalhes dos objetos a serem representados, melhorando a sua interpretação (VOISINET, 1998).

2.6 Histórico das máquinas ferramentas CNC

Em 1948, o americano John T. Parsons desenvolveu um método de emprego de cartões perfurados que continham informações que permitiam controlar os movimentos de uma máquina-ferramenta.

Apresentado o invento, a Força Aérea patrocinou uma série de projetos de pesquisa, coordenados pelo laboratório de servomecanismos do Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Poucos anos depois o MIT desenvolveu um protótipo de uma fresadora com três eixos dotados de servomecanismos de posição. A seguir é apresentado o quadro 1, resumindo a evolução do CNC.

Quadro 1: Um resumo da evolução do CNC

| | |
|------|---|
| 1940 | Mark I: primeiro computador construído pela Universidade de HARVARD e pela IBM |
| 1949 | Contrato da PARSON com a USAF para a fabricação de máquinas de CNC. |
| 1952 | Demonstração da viabilidade técnica com protótipo funcionando pelo MIT. |
| 1953 | Desenvolvimento do sistema de programação pelo MIT. |
| 1956 | Desenvolvimento das bases para a linguagem APT, de programação para CNC através do computador pelo MIT. |
| 1957 | Início da comercialização do CNC. |
| 1957 | ATA desenvolve a linguagem APT para os computadores IBM. |
| 1959 | Primeira máquina com trocador automático de ferramentas IBM-ENDICOTT. |
| 1961 | A EIA publica as normas RS 244. |
| 1962 | A BENDIX desenvolve o Comando Adaptativo. |
| 1967 | Primeiras aplicações do CNC no Brasil. |
| 1970 | Aplicação dos primeiros comandos CNC. |
| 1971 | Fabricado no Brasil o primeiro torno com CNC pela ROMI, com comando SLO-SYN. |
| 1977 | Comandos Numéricos com CNC usando a tecnologia dos microprocessadores. |
| 1980 | Sistemas flexíveis de fabricação são aplicados em larga escala. |

Fonte: MACHADO, 1986.

2.6.1 Planejamento de processo assistido por computador (CAPP)

O planejamento de processo pode ser entendido como o ato de preparar instruções de operação detalhadas para transformar um desenho de engenharia em produto final.

O CAPP possibilita a integração com outros softwares, isto é: os sistemas de planejamento de processo podem ser projetados para operar com outros pacotes de softwares tendo em vista a integração do fluxo de informações. É o caso dos programas CAD e dos sistemas de dados para usinagem.

2.6.2 Manufatura assistida por computador (CAM)

A Manufatura Assistida por Computador (CAM), consiste no uso de sistemas computacionais para planejamento, gerenciamento e controle de operações de uma fábrica. O CAM pode ser classificado em duas grandes categorias:

- Sistemas computadorizados de controle e monitoração - neste caso, o computador se liga diretamente ao processo a ser monitorado ou controlado.
- Sistemas de suporte da produção - trata-se de uma aplicação indireta. O computador é utilizado como ferramenta de suporte para as atividades de produção, não havendo interface direta do computador com o processo de manufatura.

2.6.3 CNC

Todos os sistemas baseados em computador são operados por meio de um conjunto de instruções estabelecidas previamente. Essas instruções compõem um programa e quando são postas em prática, constituem uma programação.

No caso específico de uma máquina CNC o programa é desenvolvido com frequência para usinagem de um componente ou peça. As instruções são apresentadas ao comando da máquina na ordem em que o programador precisa delas para realizar o trabalho.

O programa CNC transmite à máquina a geometria da peça e as informações relativas à movimentação das ferramentas necessárias a execução do trabalho.

2.6.3.1 Linguagens de programação para máquinas CNC

Atualmente existem um grande número de linguagens de programação. A maioria delas se relaciona com movimentações contínuas ou ponto a ponto. Uma das linguagens mais populares e poderosas é a APT (do inglês Automatically Programmed Tools, isto é, Ferramentas Automaticamente Programadas).

A linguagem APT teve as primeiras aplicações industriais no início de 1959.

Hoje é um dos tipos de linguagem mais difundidos nos Estados Unidos. Outras linguagens como Adapt, Exapt e Uniapt, derivam da APT.

Em 1982, a ISO (Organização Internacional para Normalização) estabeleceu os princípios básicos da programação CNC (norma ISO 6983). A norma indica o formato básico do programa, de modo que um conjunto de comandos, compostos de palavras-chave, possa dar instruções para o sistema de controle.

As instruções podem referir-se à uma movimentação específica dos eixos da máquina, à uma indicação de sentido de giro do eixo-árvore ou mesmo a um pedido de troca de ferramenta.

2.6.3.2 Tipos de programação

Para saber como se dá o processo de geração de programas CNC e onde se encaixam as ferramentas CAM é preciso analisar alguns tipos de programação, a saber:

- manual (já em desuso);
- assistida por computador;
- gráfica interativa.

Para preparar um programa para fabricação de uma peça, o programador escreve as instruções num formato próprio, onde são descritas as coordenadas dos pontos da ferramenta com relação à peça. O formulário é utilizado para preparar a fita NC ou os cartões perfurados, que serão lidos, posteriormente, pelo comando da máquina.

A programação assistida por computador pode ser feita diretamente no terminal do computador, de forma interativa, por meio de diálogos. Assim, transfere-se grande parte do trabalho para o computador.

O programa de geração interativa que surgiu nos anos 80 permite ao programador executar o programa de forma gráfica no monitor, visualizando os percursos das ferramentas e os deslocamentos da peça. A codificação é executada automaticamente, sem participação do programador. A este tipo de programação costuma-se associar os sistemas CAM.

O fluxo se inicia com o desenho da peça em CAD. Este passa pelas etapas de geração dos caminhos da ferramenta normalmente executados com recursos gráficos. Segue-se a atividade de pós-processamento, em que se juntam informações relativas ao plano de ferramentas e ao formato e estilo da programação. Os formatos dependem do *hardware*: que variam de acordo com as particularidades de cada comando. Como resultado obtêm-se o programa CNC desejado. A seguir faz-se a edição, se for necessário para correção de eventuais distorções, e, por último, a comunicação com a máquina para a execução do trabalho.

A comunicação entre o comando e o computador é feita normalmente por meio das portas de comunicação. Todo o processo de transferência não dura mais do que alguns segundos.

2.6.3.3 Aplicação dos sistemas CAD/CAM

Existem vários pacotes de programas CAD/CAM para diversos tipos de plataformas de computadores (PC, estações de trabalho etc.). Cada pacote tem suas funções e um segmento de mercado bem definido e, conseqüentemente, um grupo de usuários específicos. Por exemplo, existem sistemas para as áreas de mecânica, eletricidade, arquitetura, calçados, têxtil etc.

Na indústria têxtil, o desenhista que usa o método tradicional de desenho de um tecido combina um grande número de variáveis: espessura, cor, padrões, passadas. O resultado final deve ser comprovado no tecido, sendo necessário, muitas vezes, paralisar parte da produção para se fazer uma prova física. Com o sistema CAD/CAM, essa pausa não é necessária e todo o processo se torna mais rápido, uma vez que as modificações podem ser vistas na tela do monitor, antes de

serem enviadas para as máquinas específicas (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 10 nov.2003).

2.7 História da prototipagem rápida

Uma ferramenta educacional está agora disponível por um custo razoavelmente baixo para educação nos cursos de engenharia. A prototipagem rápida permite à engenharia desenvolver protótipos físicos de um desenho em pouco tempo. Eles são construídos a partir de papel, plástico, resina ou metal. Esse processo tem o potencial de mudanças fundamentais na maneira de como os produtos são desenvolvidos para o mercado. Ver figura 7.



Figura 7: Máquina de prototipagem rápida

Fonte: http://www.plastico.com.br/revista/pm346/forum_tecnico2.htm

Nos últimos anos surgiu uma nova família de máquinas altamente inovadoras que permitem, com tecnologias e materiais diferentes, obter um protótipo de um modelo ou de um molde, de maneira precisa e rápida a partir do modelo sólido gerado no sistema CAD 3D. Tais máquinas, conhecidas como máquinas de prototipagem rápida, permitem obter peças físicas acabadas, de modo automático, de qualquer forma e em dimensões finais, com complexidade e detalhes que não permitiriam sua obtenção em máquinas convencionais de usinagem, ou tornariam sua execução demorada ou complexa em centros de usinagem numericamente comandados. Dessa forma, tais máquinas possibilitam uma maior velocidade e menor custo na obtenção de protótipos se comparado aos processos tradicionais de

usinagem. Além disso, em certos casos estas técnicas permitem a obtenção de matrizes capazes de produzir uma quantidade limitada de peças, ideal para o emprego na produção de lotes pilotos. Tal tecnologia possibilita que as empresas possam desenvolver produtos mais rapidamente (menor *time to market*) e com menor custo, e, principalmente, com um acréscimo na qualidade por meio de uma melhor avaliação do projeto. Conduz também à uma diminuição das incertezas e riscos. Pode-se citar o caso do ferramental, por exemplo, cujo risco de perda por falhas no projeto diminui drasticamente, e também do produto que, uma vez tornado físico, pode ser melhor avaliado antes da decisão de dar continuidade ao seu desenvolvimento.

Segundo Wohlers (1998), o custo das mudanças de projeto ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto aumenta aproximadamente em cerca de uma ordem de magnitude conforme passa-se de uma fase para a seguinte (<http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem.html>. Acessado em 10 nov. 2003)..

A prototipagem rápida é uma tecnologia que possibilita produzir modelos e protótipos diretamente a partir do modelo sólido 3D gerado no sistema CAD. Ao contrário dos processos de usinagem, que subtraem material da peça em bruto para se obter a peça desejada. Na prototipagem para construção se utilizam camada por camada. A partir de seções transversais da peça obtidas com base no modelo 3D. As máquinas de prototipagem rápida produzem peças em plásticos, madeira, cerâmica ou metais. Os dados para as máquinas de prototipagem são gerados no sistema CAD no formato STL, que aproxima o modelo sólido pela superposição de pequenos triângulos ou facetas. Quanto menor forem estes triângulos, melhor a aproximação da superfície, ao custo naturalmente de maior tamanho do arquivo STL e tempo de processamento. Um vez que o arquivo STL é gerado, as demais operações são executadas pelo próprio *software* que acompanha as máquinas. Basicamente, estes *softwares* irão além das operações básicas de visualização e geração de seções transversais dos modelos. Tais dados são então descarregados para a máquina que irá depositar as camadas sucessivamente até que a peça seja gerada.

2.7.1 História e aplicações

Os sistemas de prototipagem rápida surgiram inicialmente em 1987 com o processo de estereolitografia (StereoLithography - SL) da empresa americana 3D Systems. Processo que solidifica camadas (layers) de resina foto-sensível por meio de laser. O sistema SLA-1, o primeiro sistema de prototipagem disponível comercialmente foi um precursor da máquina SLA - 250, bastante popular nos dias de hoje. Após a empresa 3D Systems iniciar a comercialização de máquinas SL nos EUA, as empresas japonesas NTT Data e Sony/D-MEC passaram a comercializar suas versões de máquinas de estereolitografia em 1988 e 1989, respectivamente. Em seguida, em 1990, a empresa Eletro Optical Systems - EOS na Alemanha, iniciou a comercialização do sistema conhecido como Stereos. Ver figura 8.

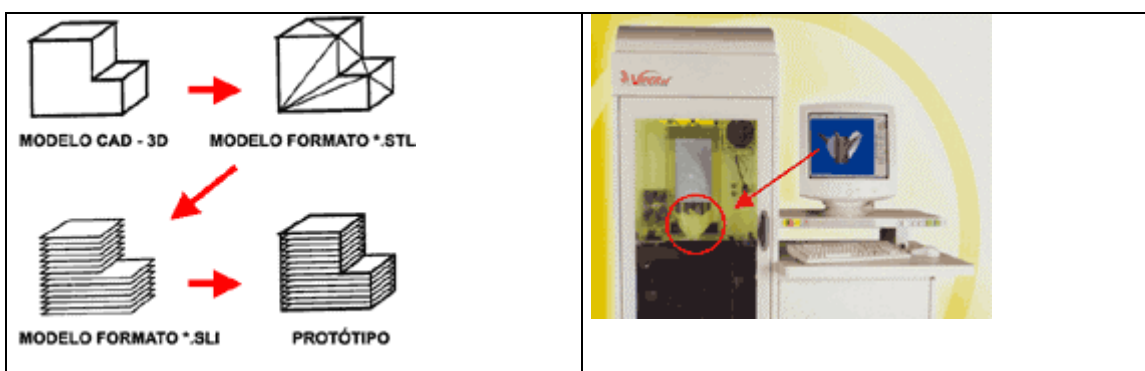


Figura 8: Estereolitografia

Fonte: http://www.cenfim.pt/artigo_prototipagem_main.htm

Logo após vieram as tecnologias conhecidas como Fused Deposition Modeling (FDM) da empresa americana Stratasys, Solid Ground Curing (SGC) da israelense Cubital e Laminated Object Manufacturing (LOM), todas em 1991. A tecnologia FDM faz a extrusão de filamentos de materiais termoplásticos, camada por camada, semelhante à estereolitografia, só que utilizando um cabeçote de fusão do material em vez de cabeçote laser. A SGC também trabalha com resina foto-sensível a raios UV, só que solidifica cada camada numa única operação a partir da utilização de máscaras criadas com tinta eletrostática numa placa de vidro. Já a LOM solidifica e corta folhas de papel (atualmente folhas de termoplásticos reforçado com fibras) usando laser controlado por computador.

Sistemas de Sinterização (Selective Laser Sintering - SLS) da empresa americana DTM e o sistema Soliform de estereolitografia da japonesa Teijin Seiki tornaram-se disponíveis em 1992. Usando calor gerado pelo laser, SLS funde pós metálicos e pode ser utilizado para obtenção direta de matrizes de injeção.

Em 1993, a americana Soligen comercializou o produto conhecido por Direct Shell Production Casting (DSPC), que utiliza um mecanismo de jato de tinta para depositar líquido agregante em pós cerâmicos para produção de cascas que podem por sua vez serem utilizados na produção de moldes e peças injetadas em alumínio. Este processo foi desenvolvido e patenteado pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Em 1994, muitas outras tecnologias e sistemas surgiram tais como:

- ModelMaker da empresa americana Sanders Prototype, usando sistema de jato de cera (ink-jet wax);
- Solid Center da empresa japonesa Kira Corp., utilizando um sistema laser guiado e um plotter XY para produção de moldes e protótipos por laminação de papel ;
- Sistema de estereolitografia da empresa Fockele & Schwarze (Alemanha);
- Sistema EOSINT, da empresa alemã EOS, baseado em sinterização;
- Sistema de estereolitografia da empresa japonesa Ushio.

O sistema Personal Modeler 2100 da empresa BPM Technology (EUA) foi vendido comercialmente a partir de 1996 (BPM significa Ballistic Particle Manufacturing). A máquina produz peças a partir de um cabeçote a jato de cera. No mesmo ano a empresa Aaroflex (EUA) passou a comercializar o sistema SOMOS em estereolitografia da multinacional DuPont, e a empresa Stratasys (EUA) lançou seu produto, o Genisys, baseado em extrusão, similar ao processo de FDM, mas utilizando sistema de prototipagem desenvolvido no centro de desenvolvimento IBM (IBM's Watson Research Center). No mesmo ano, após oito anos comercializando produtos em estereolitografia, a empresa 3D Systems (EUA) comercializou pela primeira vez seu sistema Actua 2100, sistema baseado em impressão a jato de tinta 3D. O sistema deposita materiais em cera camada por camada através de 96 jatos.

No mesmo ano, a Z Corp. (EUA) lançou o sistema Z402 3D para prototipagem baseado na deposição de pós metálicos em 3D.

Outras tecnologias e empresas apareceram e desapareceram durante os anos seguintes. Companhias como a Light Sculpting (EUA), Sparx AB (Suécia) e Laser 3D (França) desenvolveram e implementaram sistemas de prototipagem, mas não tiveram grande impacto industrial. Nos EUA, atualmente somente uma empresa estrangeira, a israelense Cubital, mantém escritórios de venda (WOHLERS, 1998; CARVALHO, Jonas de. Prototipagem rápida in: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem>. Acessado em 10 nov. 2003).

2.7.2 Técnicas

As técnicas de prototipagem rápida podem ser aplicadas às mais diversas áreas, tais como, automotiva, aeronáutica, *marketing*, restaurações, educação, paleontologia e arquitetura (CARVALHO, Jonas de. Prototipagem rápida. In: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem>. Acessado em 10 nov.2003)

O processo de modelagem mais recente, pretende fornecer meios de discernir as diferenças nos muitos sistemas de protótipos disponíveis. Dentre estes, deve-se examinar as aplicações e os *softwares* nessa nova tecnologia, fundamentados no AutoCAD 3D, Mechanical Desktop e SolidWorks.

Na área de produção, guia-se o processo do produto desde a concepção até sua colocação no mercado, no menor custo possível. A tecnologia de prototipagem rápida é acrescentada rapidamente nesse processo, automatizando a fabricação de uma parte do protótipo a partir de um desenho tridimensional (3D). Este modelo físico transporta informações muito mais completas e detalhadas sobre o produto antes mesmo do seu desenvolvimento e da sua fabricação. A realização de um processo envolvendo tecnologia de prototipagem rápida pode-se levar algum tempo. Um protótipo convencional leva alguns dias, uma semana ou até meses, dependendo do método usado e as máquinas utilizadas para este fim.

O processo de fabricação de um protótipo apóia-se em três categorias distintas: Subtração, Adição e Compressão. Num processo de subtração, um bloco de material é esculpido para produzir a forma desejada. No processo de Adição o objeto é construído juntando partes ou camadas de matéria prima. O processo compressivo força um material semi-sólido ou líquido até a forma do modelo desejada. O processo convencional apóia-se na categoria subtrativa. Este inclui processos industriais que são muito difíceis de serem usados em partes com cavidades internas muito pequenas. O processo compressivo inclui moldagem e modelagem.

Os processos aditivos que utilizam a nova tecnologia rápida de protótipo podem ser categorizados por materiais fotopolímeros, termoplásticos e adesivos.

- Fotopolímeros: Processo que começa com resina líquida e aí se solidifica, sendo exposto a um feixe de luz específica, que atua na solidificação da resina;
- Termoplásticos: Inicia com materiais sólidos, que então são fundidos e após congelados; e
- Adesivos: processo que usa um prendedor para conectar a construção primária.

A tecnologia de prototipagem rápida é capaz de criar peças com pequenas cavidades internas e geometria complexas. A integração entre a tecnologia de prototipagem rápida e processos compressivos têm resultado em uma rápida geração de amostras a partir das quais os moldes são feitos.

A tecnologia de prototipagem rápida foi inicialmente comercializada em 1987 com a Stereo Litography e hoje é encontrado nos EUA, Europa e Ásia. Em outros países estão em estágio de desenvolvimento (<http://mtiac.iitri.org/pubs/rp/rp>. Acessado em 10 nov. 2003)

2.8 Modelagem sólida

A grande vantagem da representação gráfica em 3D sobre a representação bidimensional, (representação através das vistas ortográficas), é que o usuário trabalha com a forma real do objeto ou da peça sem precisar interpretá-la a partir da representação das vistas, o que normalmente apresenta um percentual razoável de erros de interpretação, principalmente quando as peças ou objetos possuem um alto grau de detalhamento ou complexidade.

Essas representações gráficas em 3D têm assumido papel cada vez mais destacado nas áreas de projeto e design, em face da maior facilidade que os *software* gráficos atuais apresentam no seu desenvolvimento e também por sua variada aplicabilidade.

Na engenharia, com a crescente automação, os modelos em 3D são amplamente utilizados para fabricação de protótipos por máquinas operatrizes monitoradas por computador e que suportam ferramentas CAD/CAM, permitindo a integração direta entre projeto e produto.

Nas simulações, os modelos em 3D são utilizados para testes mecânicos diversos, sob as mais diferentes condições, para verificação das características mecânicas e de resistência de peças.

No projeto arquitetônico, as maquetes eletrônicas são utilizadas como ferramenta básica no desenvolvimento de realidade virtual, que permitem ao possível cliente "andar" interna e externamente pela futura residência ou, no caso de um projeto industrial, "passear" pela planta da futura indústria.

Nos projetos de reconstrução e restaurações de conjuntos arquitetônicos, históricos ou não, as maquetes têm servido como ferramenta fundamental no estudo de desenvolvimento e viabilidade de recuperação dessas construções.

O desenho técnico tem sido facilitado de forma singular na obtenção de vistas ortográficas e vistas auxiliares primárias e secundárias a partir dos modelos em 3D,

através de interações de interfaces que tentam facilitar e sistematizar o trabalho do projetista.

Segundo Bertoline (1996), há pouco tempo atrás, a formação em desenho tinha como objetivo preparar profissionais para criar várias vistas de um artefato (desenhos técnicos) para serem utilizados em processos de manufatura ou planejamento, ou supervisionar a produção de desenhos. Com o desenvolvimento das técnicas de modelagem e métodos paramétricos para sistemas CAD, a maneira de supervisionar estas tarefas se modificou. Um esboço pode ser utilizado como base para criar um modelo parametrizado, o qual pode ser modificado facilmente re-editando-se os parâmetros. Uma vez finalizado o objeto, as várias vistas deste podem ser geradas automaticamente a partir do modelo 3D.

A utilização do computador em profissões que usam desenhos e projetos é um dos mais importante desenvolvimento que ocorreu nos últimos tempos. Atingiu o mundo industrial como uma onda de choque, revolucionando o modo de execução, armazenagem, organização e re-projeto de desenhos.

2.8.1 Definições de modelagem sólida

O processo de modelar, consiste representar idéias abstratas, trabalhos e formas, através do uso ordenado de texto simplificado e imagens. Os engenheiros e técnicos usam modelos para pensar, visualizar, comunicar, prever, controlar e treinar. Estes modelos são classificados como descritivos ou preditivos.

O modelo descritivo representa idéias abstratas, produtos, ou processos em uma forma reconhecível. Exemplos disso são um desenho de engenharia, a representação em 3D de uma peça mecânica ou uma maquete eletrônica.

Um modelo preditivo pode ser usado para entender e prever o comportamento/performance de idéias, produtos, ou processos. Um exemplo de modelo preditivo é o de um elemento finito que é usado para prever comportamento mecânico.

Há atualmente três métodos diferentes usados para modelagem geométrica em programas de CAD 3D: *wireframe* (armação em arame), superfície e modelos sólidos.

Um modelo sólido representa uma forma como um objeto 3D que possui propriedades de massa (LAMIT in: <http://theti.com/model.htm>. Acessado em 03 ago. 2003)..

A modelagem descreve as fases do desenho para construir um modelo físico 3D ou um modelo eletrônico 3D de uma peça. Com um modelo de CAD 3D pode-se investigar uma variedade de projetos modelar o resultado do projeto no sistema e completar outras análises (Idem).

2.8.2 Definições de modelagem paramétrica

Os programas CAD paramétricos são utilizados em todas as fases do projeto de engenharia. O ambiente de engenharia simultânea (compartilhada) necessita de projetista de manufatura desde as etapas iniciais do projeto. Engenheiros, desenhistas industriais, tecnólogos e desenhistas técnicos trabalham desde o início do projeto de forma conjunta para assegurar um produto manufaturado de alta qualidade (Idem).

O termo paramétrico pode ser definido como qualquer conjunto de propriedades físicas cujos valores determinam as características ou comportamento de algo. O projeto paramétrico permite gerar uma variedade de informações sobre seu desenho, como por exemplo propriedades de massa. Para obter estas informações, é necessário primeiro modelar suas partes ou peças componentes.

A capacidade de incorporar com sucesso o conhecimento de engenharia através de um modelo sólido é um aspecto essencial da modelagem paramétrica. Isto assegura que aqueles parâmetros críticos estão sendo satisfeitos à medida em que o projeto evolui (Idem).

Os modelos paramétricos não são simplesmente desenhados, mas também esculpidos na forma de volumes sólidos de materiais. Quebrar o projeto global em componentes básicos, construindo blocos ou peças básicas, permite identificar a característica mais fundamental da parte como a primeira característica ou característica básica (Idem).

Uma variedade de características básicas pode ser modelada usando os comandos de extrusão, revolução, *sweep* (varredura) e *blend* (fundir). Características adicionais esboçadas (pescoço, rosca, flange e corte) e características como escolher e deslocar as partes para a sua respectiva posição, chamando os perfis de referência, completam o projeto (furos, círculos e chanfros).

Além disso, a tendência da indústria atual é que os engenheiros sejam especialistas em modelagem geométrica utilizando computadores. Modelagem geométrica é o processo de criação em computação gráfica para comunicar, documentar, analisar e visualizar o processo de projeto. Os engenheiros usam esboços e os modelos computadorizados para visualização e então fazem a documentação mínima para a fabricação. A documentação pode estar na forma de modelos 3D computadorizados, e posteriormente enviados à produção para gerar o programa de computador para a máquina de controle numérico (CNC) em código de máquina (BERTOLINE, 1996; <http://theti.com/model.htm>. Acessado em 03 ago.2003).

Em programas CAD 3D nem todos os objetos têm formas bem definidas que podem ser mostradas facilmente com linhas. Para descrever limites ou fronteiras de superfícies sobre primitivas curvas como cilindros, cones e esferas, linhas especiais são requeridas. Estes exibem linhas, freqüentemente chamadas de linhas de mosaico, útil para visualização e descrição de fronteiras ou limites curvos complexos visualmente. (DUFF, <http://theti.com/model.htm>. Acessado em 03 ago. 2003).

2.9 Previsões para o futuro

A realidade virtual é uma ferramenta produtiva que vem sendo utilizada nas mais diversas áreas e formas, nos mais variados campos de conhecimento humano segundo USP/Bibivirt (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 16 jun. 2003).

No ensino à distância, através da linguagem VRML (Language Modeling Reality Virtual), os modelos em 3D, disponibilizados via Internet, têm sido utilizados como facilitadores no processo de ensino-aprendizagem, especificamente no desenvolvimento da capacidade de visualização.

A Embraer e as montadoras de automóveis no Brasil por exemplo, são algumas usuárias dos recursos de realidade virtual, seja utilizando-as no desenvolvimento de peças e acessórios, em testes de partes e do produto final. Utilizam para tanto computadores com grande capacidade de processamento, alta capacidade gráfica e resolução, bem como dispositivos para criar a ilusão da realidade, como óculos, sensores, luvas e dispositivos de apontamento especiais.

O projetista pode usinar, cortar e perfurar um modelo como se estivesse em uma fábrica, com a vantagem de realizar essas operações tantas vezes quantas forem necessárias, otimizando tempo e recursos.

A realidade virtual ainda se encontra num patamar inicial de desenvolvimento. No entanto, suas possibilidades são enormes. Como ferramenta de manufatura (CAE/CAD/CAM), ela possibilita, entre outras aplicações simular a fabricação de uma peça mecânica em 3D.

A realidade virtual traz aos usuários os seguintes benefícios:

- Identificação rápida e fácil de possíveis falhas num projeto;
- Correção imediata com baixo custo;
- Facilidade na apresentação do projeto a outros grupos de especialistas externos e internos;
- Armazenamento de informações; e

- Facilidade de manutenção das partes que compõem produtos mais complexos.

Os testes feitos em ambientes virtuais são mais baratos e não colocam em risco a vida dos usuários. USP/Bibivirt (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 16 jun. 2003).

Quanto mais rápidas e precisas forem a manutenção e a reposição de peças danificadas de um produto, menor será também o custo do trabalho na área de Engenharia de Automação. Periféricos de realidade virtual possibilitam operar com máquinas prejudiciais à saúde humana.

Na medicina esses periféricos também podem permitir a execução de cirurgias complexas por médicos cirurgiões em locais de difícil acesso e em casos em que o paciente não pode ser removido.

Na indústria aeroespacial, a realidade virtual permite simulações de pilotagens.

2.10 Tipos de modelagem 3D

2.10.1 Introdução

A maioria dos objetos com os quais tem-se contato diariamente tem sido projetados segundo normas utilizadas há muito tempo. Esse procedimento começa com uma idéia, que é estruturada por meio de muitas interações, avaliadas e testadas, representadas em papel na forma de desenhos e então construídas segundo as indicações do projetista. Há bem pouco tempo, todo este trabalho era executado de forma manual, usando-se papel e tinta.

Tendo em vista que os desenhos de sólidos tridimensionais são organizados no espaço bidimensional de uma folha de papel, o modo padrão de representação de sólidos tridimensionais geralmente utilizado é o das projeções ortogonais. Apesar destes modelos de desenhos serem amplamente usados, eles são limitados na

medida em que são apenas uma representação bidimensional de sólidos tridimensionais e, desta maneira, para que os objetos que eles representam possam ser construídos, estes desenhos precisam ser corretamente interpretados. O plano da tela do computador também é bi-dimensional.

Existem, basicamente, três tipos de modelamento:

- Modelamento por *Wireframe*;
- Modelamento por Superfícies; e
- Modelamento por Sólidos

2.10.2 Tipos de Modelagem

2.10.2.1 Modelagem *wireframe*

Até recentemente a modelagem por *wireframe* era o principal método utilizado pelos sistemas CAD, possibilitando unir linhas entre pontos no espaço permitindo a criação de modelos espaciais e garantindo a consistência de vistas 2D derivadas dos modelos e da cotação associada.

Com o avanço tecnológico e a maior capacidade de processamento dos computadores, esses sistemas foram sendo substituídos pelos baseados nos métodos de modelagem sólida. Isto também aconteceu em parte devido a dificuldade de uso dos *wireframe* quando existe a necessidade de incorporá-los em *softwares* de análise ou manufatura, já que não possuem nenhum tipo de informação relacionada a características físicas dos componentes reais associados ao modelo (<http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>. Acessado em 10 nov. 2003).

2.10.2.1.1 Processo de modelamento *wireframe*

Segundo Souza et al. (1999) esta forma de modelagem apresenta a mais simples técnica de representação de objetos tridimensionais, através da qual é efetuada uma descrição do “esqueleto” ou da “estrutura” de um objeto tridimensional. Ver figura 9.

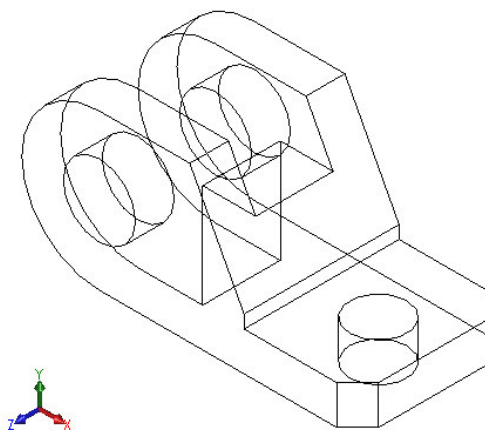


Figura 9: Modelagem *wireframe*. (Modelado no SolidWorks)
 Fonte: Desenhos do autor executados em 2004 no SW

Não há superfícies em um modelo “*Wireframe*” – somente vértices, linhas retas e curvas que são usados para representar as arestas de um objeto 3D.

Modelos *wireframe* podem ser usados em muitas aplicações em que se necessita da visualização das arestas de objetos 3D, possibilitando certas facilidades com respeito ao desenho em 3D:

- Obtenção automática de vistas ortográfica e auxiliares, com ou sem o uso de perspectiva;
- Estudos simplificados de posicionamento espacial;
- Obtenção de distâncias entre pontos no espaço;
- Visualização mais “real”, em relação a interpretação de vistas ortográficas, para sólidos simples.

Portanto, os modelos representados em *wireframe* têm um nível pequeno de descrição dos sólidos que representam e, desta maneira, possuem certas limitações:

2.10. 2.1.2 Aplicações de modelagem *wireframe*

O modelo *wireframe* é indicado para aplicações esquemáticas, onde o modelo pode ser substituído por linha, que representam o contorno, linhas de fluxo, cabos ou tubulações. Para se conseguir desenhar um modelo *wireframe* é necessário utilizar linhas, arcos e *splines* e, o mais importante, dominar as ferramentas de

construção e o sistema de coordenadas. Para este tipo de modelagem é importante lembrar que o sistema de coordenadas é da forma (x,y,z) , sendo a coordenada z tão utilizada quanto às coordenadas x e y .

Por ser um desenho em 3D, o modelo *wireframe* pode ser visualizado e plotado de todos os ângulos, o que facilita a geração de vistas para a impressão. No entanto, com este tipo de modelo geométrico não se consegue calcular o volume do modelo nem obter as propriedades de massa do mesmo, além do que a visualização restringe-se ao contorno (Revista CADware, n. 12, maio/jun. 1999). Não é possível obter representações com as arestas ocultas, removidas (*Hidden Line*), sombreamento (*Shading*) ou renderização (*Rendering*).

Para aplicações que precisem de informações mais detalhadas, pode-se dessa usar os recursos de modelamento de superfície.

2.10.2.2 Modelagem de superfícies

Segundo Matsumoto (1999a) um modelo 3D com superfície contém as informações sobre as arestas de um objeto e o espaço entre elas. Um modelo construído com superfícies pode ser idealizado como uma “casca” de um objeto 3D, onde podem ser identificados pontos que podem estar “dentro” ou “fora” desta casca. Estes modelos são criados inserindo-se entidades tridimensionais planas ou curvas, que possibilitem formar uma casca “fechada” que representa o objeto 3D. Existem vários tipos de superfícies que podem ser usadas para este objetivo, como superfícies planas, de extrusão, de revolução, etc. Para superfícies de transição entre as arestas de um objeto, podem ser usados superfícies NURBS (Non-uniform rational b-splines), por exemplo.

Os modelos com superfícies detêm um nível maior de descrição dos objetos que representam e, desta maneira, podem ser usados em aplicações que necessitam mais informações, tais como:

- Obtenção de percursos de ferramentas para usinagem de superfícies complexas;

- Obtenção de desenhos com vistas auxiliares ou em perspectiva com a retirada de linhas invisíveis e sombreado e acabamento foto-realístico;
- Representação de intersecções entre superfícies no espaço.
- No entanto, a modelagem com superfícies têm certas limitações:
- As superfícies construídas não têm nenhuma ligação com o algoritmo ou com a geometria usadas para o posicionamento delas;
- A densidade da malha de cada superfície não pode ser controlada de forma independente;
- As superfícies são entidades que têm somente informações sobre seus vértices.

Conforme a complexidade da geometria, é possível criar modelos “abertos”, ou seja, possuem superfícies que se interceptam, ocorrendo imperfeições de modelagem que irão atingir aplicações posteriores, por exemplo, obtenção de caminho de ferramentas utilizadas nos processos de usinagem em máquinas de Controle Numérico (CNC) e em sistemas CAD/CAM.

Embora modelos baseados em superfícies sejam úteis para diversas aplicações, como superfícies de terrenos (curvas de nível para levantamento topográfico), superfícies complexas pertencentes à peças utilizadas nas indústrias automobilística, aeroespacial, entre outras, para outras peças, onde são utilizados estudos analíticos maiores – tais como análise por elementos finitos, análises volumétricas e da massa e para cálculos de momentos de inércia, os dados necessários podem ser melhor obtidos por meio de modelagem de sólidos.

2.10.2.2.1 Processo de modelagem com superfície

Segundo Souza et al. (1999) a modelagem com superfícies tem como característica a criação de várias superfícies planas que se unem para criar uma aproximação de uma superfície curva. O número de divisões das superfícies é controlável, de forma que é possível criar objetos em 3D com a aparência de curvas bastante complexas. A vantagem de se trabalhar com superfícies é a capacidade de visualizar o modelo em 3D com as linhas invisíveis escondidas ou visualizar o

modelo com aplicação de textura, sombra, luzes, etc. Para representar o relevo de um terreno ou superfícies livres a modelagem com superfícies é a mais indicada.

A melhor forma para se conseguir modelar com superfícies é em primeiro lugar desenhar o seu contorno. A partir do esqueleto do modelo, se utilizam os comandos de superfície para preencher os espaços com cascas.

A maioria dos modeladores trabalham com superfícies planas e quadriláteras. Para modelar uma malha circular é necessário configurar a quantidade de divisões que serão aplicadas à malha. Quanto maior o número de divisões mais perfeita a superfície, porém maior o tempo de regeneração do desenho e também maior o tamanho do arquivo.

Uma superfície pode ser definida como um elemento matemático que separa o interior do exterior de um objeto.

Os modelos de superfície diferem dos modelos em *wireframe*, por usarem superfícies para definir o volume ou envolver o contorno de um objeto. Ver figura 10.

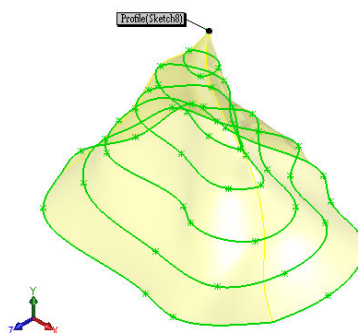


Figura 10: Modelagem de superfície no software SolidWorks.

Fonte: Desenhos do autor executados em 2004 no SW

Apesar de os objetos criados através da modelagem por superfícies serem semelhantes aos criados por modelos em *wireframe*, a diferença entre eles fica clara quando é realizada uma operação de remoção de arestas escondidas (ocultas) - *HIDE* - ou de sombreado - *SHADING* - de uma superfície, isto porque muitos dos detalhes internos do modelo serão ocultados por superfícies opacas entre a geometria interna e o observador. Ver figura.11.

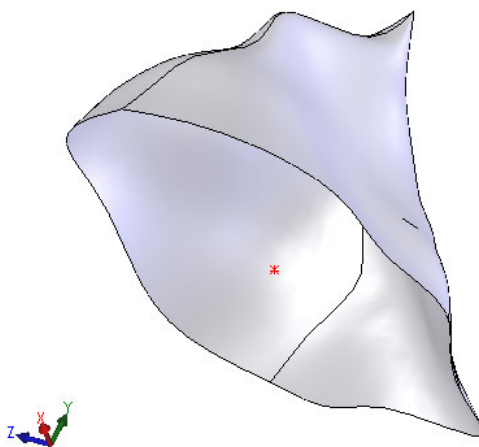


Figura 11: Modelagem de superfície no software SolidWorks .

Fonte: Desenhos do autor executados em 2004 no SW

2.10.2.3 Modelagem sólida

Em geral um sistema de modelamento por sólidos mantém dois tipos de informações que descrevem o modelo: geometria espacial e topologia. Isto significa que à medida em que o modelo é criado, o sistema armazena tanto a forma do objeto final, bem como as formas primitivas e operações usadas para criação deste objeto. Estes dois tipos de informações estão associados a dois tipos de representações de sólidos.

Segundo Souza et al. (1999) a modelagem sólida permite a criação de objetos tridimensionais a partir de primitivas sólidas como cubos, esferas ou cones. É uma forma de modelagem mais realista, pois nos modelos em wireframe e nos modelos de superfícies os objetos são criados a partir do posicionamento de linhas e superfícies no espaço tridimensional. Ver figura 12.

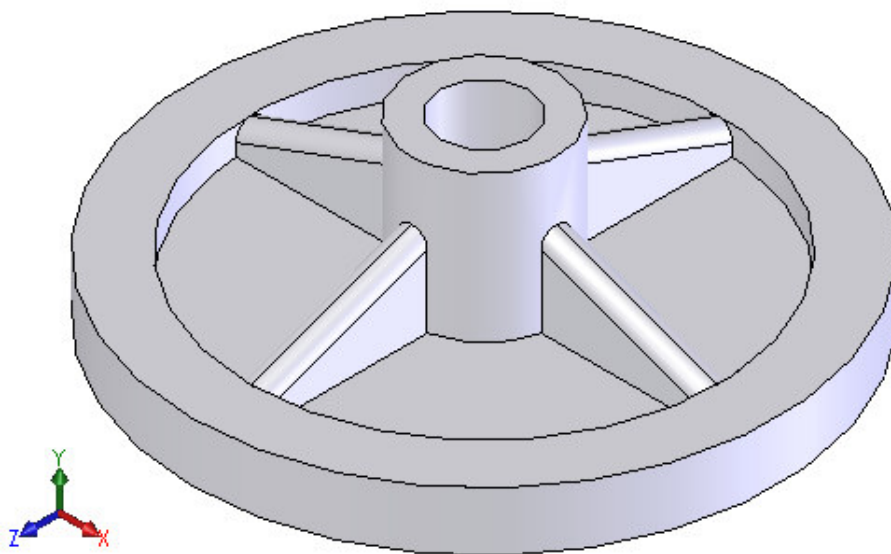


Figura 12: Modelagem sólida construída no *software* SolidWorks.

Fonte: Desenhos do autor executados em 2004 no SW

Os modelos sólidos apresentam duas características essenciais: a capacidade de realizar mudanças rápidas em sua geometria, através de operações booleanas e a possibilidade de se efetuar análises, pois permitem a associação de propriedades físicas e materiais ao objeto.

Desta forma, consegue-se determinar o centro de gravidade, a área da superfície, os momentos de inércia, o peso, a densidade, a condutividade térmica entre outras propriedades, possibilitando o uso destes modelos para análises mais apuradas em várias aplicações nas diversas áreas de engenharia.

Outra característica importante dos modelos sólidos é a impossibilidade de criar-se uma representação geométrica imprópria ou irreal. São, pois, diferentes dos modelos em wireframe e dos modelos de superfície, com os quais é possível gerar objetos fisicamente irreais, com erros de interseção de faces e erros de outra ordem.

O modelamento 3D apresenta as dificuldades que são próprias do processo de desenho, pois o projetista é obrigado a considerar as três dimensões simultaneamente. Em alguns casos a utilização do modelo 3D é imprescindível, como, por exemplo, na aplicação de análises por elementos finitos para verificação de tensões, escoamento, temperatura, etc. e ainda quando há a necessidade de se

calcular o volume, propriedades de massa e eixo de inércia, e no caso de conjuntos, verificação de interferências.

A modelagem de sólidos permite a redução do ciclo de desenvolvimento dos produtos, desde sua concepção até a sua produção para o mercado. Aliada a um sistema flexível de manufatura, possibilita a personalização de produtos, fabricação de protótipos ou fabricação de produtos em pequenas séries sem uma penalização excessiva nos custos.

Do ponto de vista técnico, as mudanças mais significativas são:

- Redução do ciclo de desenvolvimento dos produtos;
- Utilização conjunta com várias ferramentas de projeto;
- Pré-montagem digital;
- Visualização do produto;
- Protótipos rápidos e baratos;
- Possibilidade de experimentar vários designs;
- Melhora da comunicação com clientes e fornecedores;
- Automação (Saída direta para máquinas CNC).(MACHADO,1986)

Os principais métodos de Representação 3D Sólida são: CSG; B-Rep; Híbrida; Baseada em *Features*; Paramétrica.

2.10.2.3.1 Processo de modelagem sólida (constructive solid geometry - csg)

Um modelo CSG é uma árvore binária constituída de objetos primitivos e operadores booleanos. As primitivas são representadas pelos ramos da árvore e os objetos mais complexos são os nós. A raiz da árvore representa o produto completo. Cada primitiva é associada com uma transformação 3D que especifica a posição, orientação e dimensões. Este método caracteriza-se por compor modelos a partir de sólidos.

O modelo na forma técnica CGS representa o modelo sólido em termos de primitivas simples tais como: paralelepípedos, cones, esferas e primitivas complexas

como sólidos de extrusão e revolução. Estas primitivas são combinadas por operações booleanas para compor objetos sólidos complexos.

Desta maneira, cada objeto criado possui uma “árvore” CSG associada a ele, que guarda as informações das primitivas e das operações booleanas utilizadas para a criação do modelo.

A técnica CSG consiste numa forma rápida e bastante intuitiva para a modelagem sólida, visto que simula o processo de manufatura. Um problema associado a modelagem por técnicas CSG é o suporte limitado a superfícies, já que um modelador CGS “puro” não armazena as informações das fronteiras e intersecções de sólidos.

Avaliando as duas técnicas de modelamento, o AutoCAD é considerado um modelador de sólidos híbrido, visto que ele usa as técnicas de CSG para a modelagem e a visualização do objeto sólido. Após cada operação booleana, é feita sobre a forma de B-Rep (Boundary representation) que representa o modelo sólido em termos de sua fronteira espacial. Outra grande vantagem do uso de um modelador híbrido é que, à medida em que são realizadas quaisquer alterações na forma ou posição dos sólidos primitivos usados, o sistema automaticamente reprocessa a árvore CSG e mostra o sólido final no formato B-Rep, o que facilita a interação do usuário com o sistema de modelagem.

2.10.2.3.2 Capacidade da modelagem sólida (Constructive Solid Geometry – CSG)

Sistemas CSG são capazes de realizar a modelagem sólida são muito mais poderosos do que simples modeladores baseados em *wireframe*. Esses programas são usados para construir componentes sólidos e não simplesmente uma malha de linhas trançadas.

Este método possui algumas limitações, sendo a principal a presença de um conjunto limitado de operações e primitivas, o que por consequência limita as

possibilidades de criação por parte do projetista. Ver figura 13 (<http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>. Acessado em 10 nov. 2003).

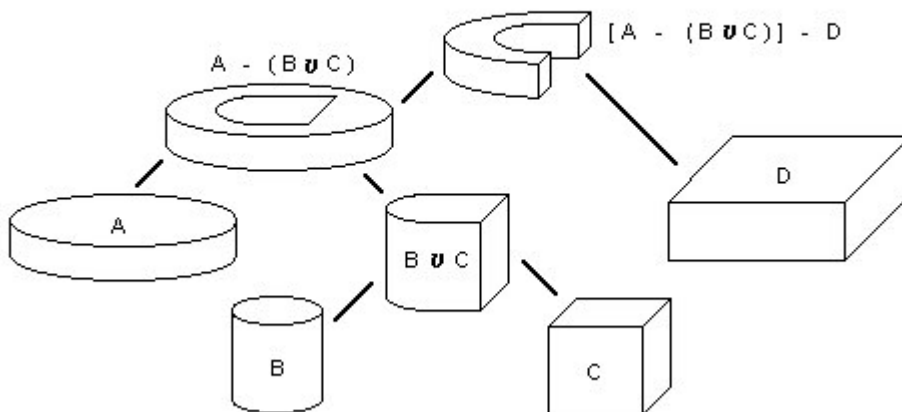


Figura 13: Modelagem sólida CSG.

Fonte: <http://www.caa.uff.br/~aconci/sweeping.html>. Acessado em 31 jun. 2003.

2.10.3 Introdução a Boundary representation (B-Rep)

O modelo na forma B-Rep representa o modelo sólido em termos de sua fronteira espacial, em geral tendo a superfície externa e uma convenção para indicar de qual lado da superfície está o material sólido.

O sólido é representado por faces delimitadas por arestas, definidas por vértices. O modelo B-Rep armazena as representações matemáticas precisas da geometria das superfícies nas quais as faces são dispostas; da geometria das curvas nas quais as arestas são colocadas e as coordenadas dos vértices (MATSUMOTO, 1999a).

2.10.4 Processo de modelagem sólida B-Rep (*Boundary Representation*)

A modelagem B-Rep é baseada nas técnicas de modelagem de superfícies anteriormente existentes. A primeira geração de modeladores B-Rep representavam objetos sólidos apenas por tabelas de faces, arestas e vértices. Assim ele somente suportava objetos com faces planas. Superfícies curvas eram modeladas por aproximação linear, num processo chamado "facetamento".

A segunda geração de modeladores B-Rep incluiu objetos primitivos com superfícies analíticas, como cilindros, esferas, cones, etc. Eles permitem a criação de modelos muito mais complexos com geometria "exata". Para tal foi necessário o uso de algoritmos de interseção muito mais complexos.

Outros desenvolvimentos em modelagem B-Rep foram dirigidos a melhorias na efetividade de operações booleanas através de, por exemplo, o uso de diretórios de ocupação espacial, o que reduz o número de verificações de interferência de face. Uma outra área de desenvolvimento foi a expansão do número de formas geométricas que podem ser modelados com a técnica B-Rep.

A modelagem B-Rep possui algumas vantagens sobre a CGS, principalmente no tocante a versatilidade na geração de modelos complexos e na velocidade de verificação de relações topológicas. Isto acontece devido a maneira como o B-Rep registra as informações do modelo, armazenando os parâmetros das arestas de forma explícita. Ver figura 14 (<http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>. Acessado em 10 nov. 2003).

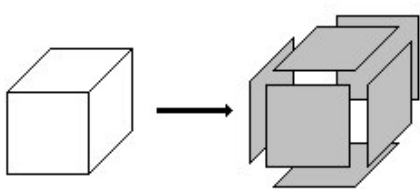


Figura 14: Modelagem sólida CSG B-Rep (Boundary Representation)
Fonte: <http://www.caa.uff.br/~aconci/sweeping.html>. Acessado em 31 jun. 2003.

2.10.5 Introdução ao processo de modelagem sólida híbrida

Os métodos de modelagem sólida CSG e B-Rep são freqüentemente combinados para gerar modelos de componentes. Cada um desses métodos possui suas limitações e componentes de difícil criação. Fazendo-se uso de um ou outro, podem ser gerados mais facilmente usando uma combinação de ambos

os métodos. A maioria dos sistemas modeladores sólidos comerciais são híbridos utilizando tanto o método CSG quanto o B-Rep.

2.10.6 Processo de modelagem sólida baseada em *features*

Uma *feature* pode ser definida como um elemento físico de uma peça que tem algum significado para a engenharia. Ela deve satisfazer as seguintes condições:

- Ser um constituinte físico de uma peça;
- Ser mapeável para uma forma geométrica genérica;
- Ser tecnicamente significativa, sob o ponto de vista da engenharia; e
- Ter propriedades predizíveis ou seja, prognosticáveis.

O significado técnico de *feature* pode envolver a função à qual uma *feature* é utilizada, como ela pode ser produzida, que ações a sua presença deve iniciar, etc. *Features* podem ser pensadas como 'primitivas de engenharia' relevantes a alguma tarefa de engenharia.

A modelagem por *features* vem ganhando espaço principalmente na engenharia mecânica. O método permite criar furos, chanfros, rasgos, etc, para serem associados a outras entidades ou faces. A modelagem por *features* é baseada na idéia de se desenhar utilizando blocos de construção. Ao invés de se usar formas analíticas como paralelepípedos, cilindros, esferas e cones como primitivos, o usuário cria um modelo do produto usando primitivas de maior nível que são mais relevantes para sua aplicação específica. Esta abordagem deveria fazer com que os sistemas de modelagem sólida ficassem mais fáceis de serem usados. Entretanto, o conjunto fixo das *features* oferecidas pelos atuais modeladores é muito limitado para uso industrial, o que limita as possibilidades do projetista. Assim, fica claro que as *features* devem ser adaptáveis aos usuários e que a biblioteca de *features* deve ser extensível. Ver figura 15 (<http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>. Acessado em 10 nov. 2003).

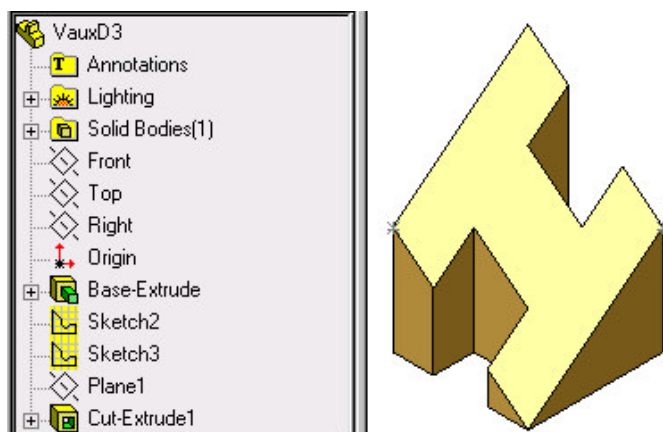


Figura 15 : Modelagem sólida baseada em Features desenvolvida no aplicativo CAD 3D software SolidWorks e caixa da árvore de gerenciamento do processo de modelagem.

Fonte: Desenhos do autor executados em 2004 no SW

2.10.7 Modelagem sólida paramétrica

A modelagem sólida paramétrica permite criar modelos de produtos com dimensões variáveis. Elas podem ser ligadas através de expressões. Ligações bidirecionais entre o modelo e o esquema de dimensionamento permite a regeneração automática de modelos depois de mudanças nas dimensões e atualização automática das dimensões relacionadas (<http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm>. Acessado em 10 nov. 2003).

Nem todos os sistemas CAD paramétricos provêem esta bi-direcionalidade, devido à complexidade envolvida, penalizando o projetista, pois este tem que pensar na estruturação das ligações dimensionais antecipadamente, sem o que a alteração do modelo pode implicar em sua reconstrução. Estas alterações podem ser realizadas através da árvore de gerenciamento no caso do software SolidWorks. Ver figura 16.

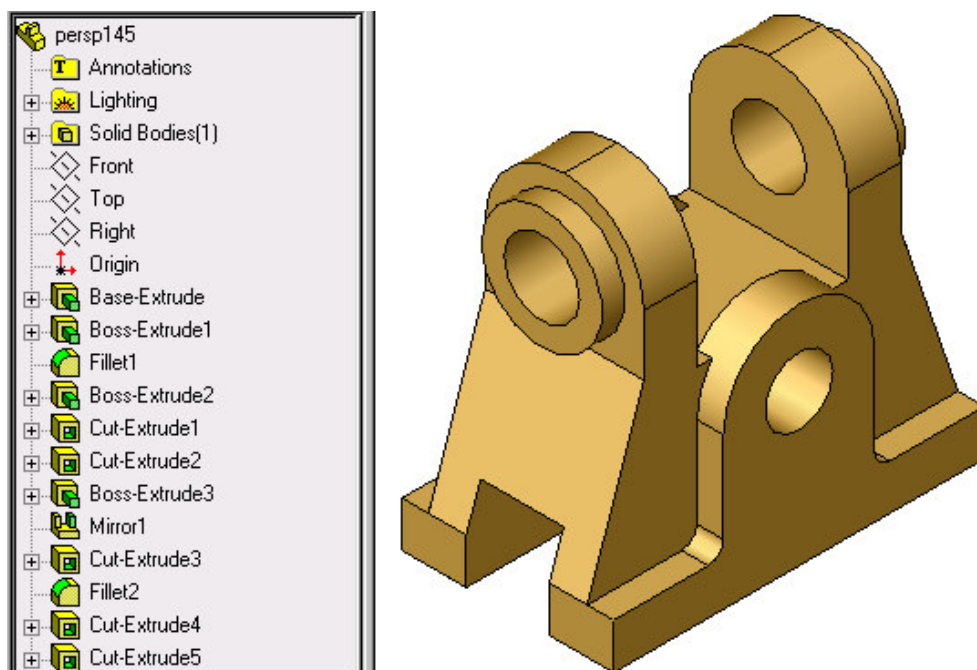


Figura 16: Modelagem sólida paramétrica desenvolvida no aplicativo CAD 3D software SolidWorks e caixa da árvore de gerenciamento do processo de modelagem.

Fonte: Desenhos do autor executados em 2004 no SW

2.11 Projeto auxiliado por computador

O termo diseño (projeto) procede do vocábulo italiano “disegno”. Em nosso contexto se utiliza para caracterizar “a representação gráfica, de acordo com uma idéia criativa prévia, de um objeto artístico ou funcional, de um dispositivo mecânico, ou de uma estrutura ou funcionamento de um sistema ou processo (<http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>. Acessado em 10 nov.2004).

Como o processo de projeto e os sistemas informatizados podem incidir nestes. Mostra-se a seguir a estrutura geral de uma aplicação CAD, destacando-se o papel do modelo geométrico.

2.11.1 Processo de projeto

Tradicionalmente o processo de projeto segue os seguintes passos (MASS, 1987) (Ver figura 17).

Definição. Consiste em especificar as propriedades e qualidades relevantes do sistema a ser projetado

Concepção do modelo. É o núcleo do processo de projeto. O engenheiro ou projetista concebe um modelo de sistema que satisfaça as especificações. O modelo deverá ser documentado.

Desenho de detalhe. A maior parte dos objetos que se fabricam tem algum tipo de representação gráfica natural, que se utiliza como descrição ' formal' do elemento a construir. Por esse motivo, antes de passar ao processo de construção deve-se gerar grande quantidade de ' planos' (ou descrições gráficas em geral). O conjunto de documentos gerados deve ser o bastante para descrever o modelo com suficiente detalhamento para permitir a fabricação de protótipos, a fim de aprovar o projeto. Este passo pode requerer cerca de 50% do esforço na criação e confecção do projeto (<http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>. Acessado em 10 nov. 2004).

Construção de protótipos. Para elementos que vão se submeter a um processo de fabricação em série ou cadeia é normal fabricar previamente protótipos, fora da cadeia de montagem. Os protótipos são fabricados com o propósito de detectar possíveis erros no modelo ou na especificação e em caso contrário, servir de validação do mesmo. Os protótipos não têm que ser necessariamente um exemplar completo do elemento a fabricar, podendo utilizar-se para validar somente determinadas propriedades tais como: dimensional, características mecânicas, físicas, etc .

Às vezes se utiliza protótipos com elementos que não se fabrica em série, como em engenharia civil ou arquitetura. Nesta situação cabe destacar as maquetes para estudos de resistência de materiais, o comportamento aerodinâmico e as maquetes de arquitetura.

Realização de ensaios. Realizando ensaios sobre o protótipo pode-se descobrir deficiências ou falhas no modelo ou na própria definição do sistema, o que obrigará a retomar o processo, revisando o projeto. Deve-se observar que o desenho de detalhe está, em princípio, dentro deste ciclo de re-projeto.

Documentação. Uma vez validado o projeto passa-se a documentá-lo. A documentação deve conter informação suficiente para poder atacar (efetivar) a construção/fabricação do objeto ou equipamento do sistema. A documentação pode ser apresentada descrição do sistema e de seus componentes, esquemas de montagem, lista de componentes, etc.

O processo de projeto segue um esquema iterativo, no qual o projetista trata de encontrar um projeto que satisfaça determinados requisitos, explorando possibilidades, seguindo um ciclo de proposta – valorização (custo x benefício).

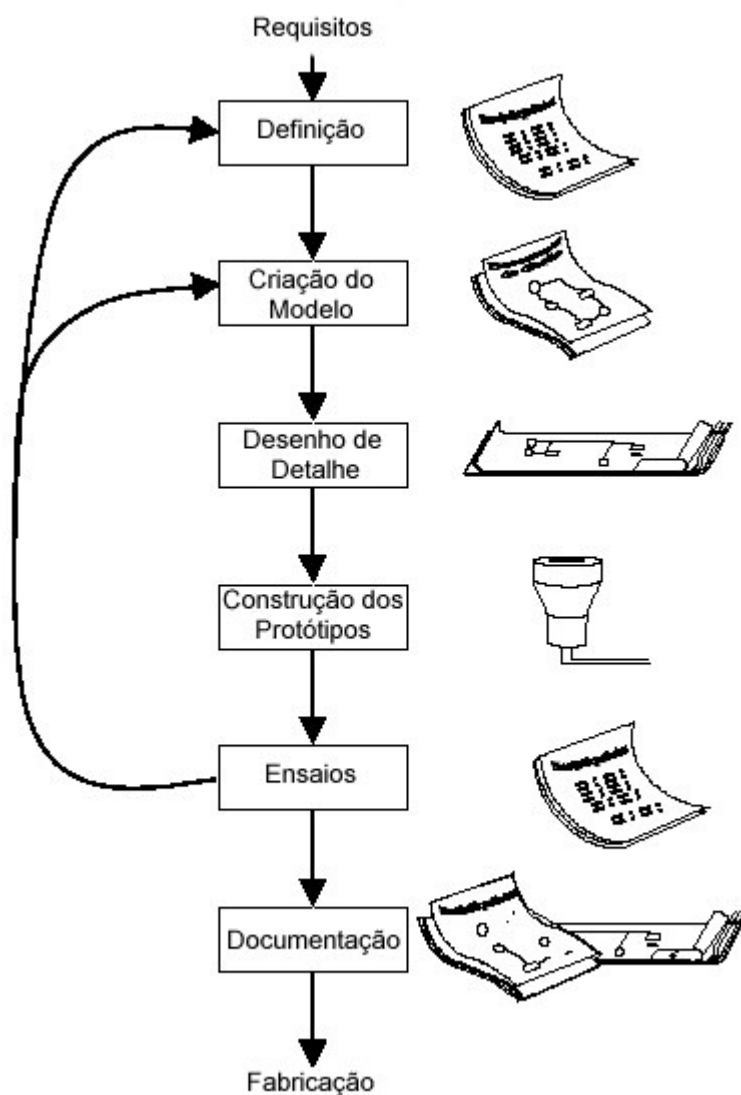


Figura 17: Processo clássico de projeto

Fonte: <http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>. Acessado em 10 nov. 2004.

2.11.2 Conceito de sistema CAD

Em um sentido amplo, podemos entender o Desenho Assistido por Computador (CAD) como a "aplicação da informática ao processo de projeto" (SALMON,87). Entende-se por Sistema CAD, um sistema informatizado que automatiza o processo de projeto de um produto (peça, modelo, conjunto, etc.).

Os meios informatizados podem ser utilizados na maior parte das etapas do processo, sendo o desenho o ponto que mais profusamente tem-se utilizado. Uma ferramenta CAD é um *software* que aborda a automatização global do processo de projeto de um determinado tipo de entidade.

O êxito na utilização de sistemas CAD resulta na redução de tempo investido nos ciclos de exploração, fundamentalmente pelo uso de sistemas gráficos interativos que permitem realizar as modificações no modelo e observar imediatamente as mudanças refletidas no projeto.

O desenvolvimento de um sistema CAD baseia-se na representação computacional do modelo. Isto permite produzir, elaborar e apresentar automaticamente o desenho de detalhe e a documentação do desenho, além de possibilitar a utilização de métodos numéricos para realizar simulações sobre o modelo, como uma alternativa a construção de protótipos.

O ciclo do projeto utilizando um sistema CAD vê-se afetado pela inclusão de uma etapa de simulação entre a criação do modelo e a geração de esboços. Esta simples modificação supõe uma redução importante na duração do processo de desenho, já que permite antecipar o momento em que se detectam alguns erros de projeto. A figura 2.18 mostra o ciclo de projeto utilizando uma ferramenta CAD. A área sombreada mostra a atuação do sistema CAD.

Requisitos:

- Definição;
- Criação do modelo;

- Desenho de detalhe;
- Construção de protótipos;
- Ensaios;
- Documentação;
- Fabricação.

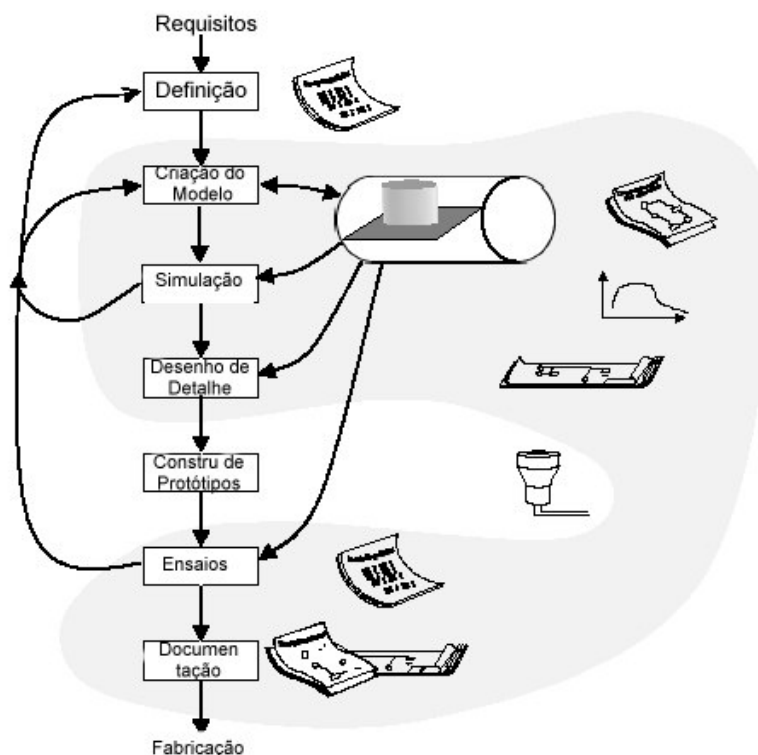


Figura 18: Processo de projeto usando uma ferramenta CAD. A área sombreada mostra a abrangência do sistema CAD

Fonte: <http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>. Acessado em 10 out. 2004.

Apenas as etapas de definição e testes de ensaio com protótipos que se encontram fora do âmbito do sistema CAD. As demais tarefas são realizadas utilizando o sistema CAD. A importância da realização de ensaios com protótipos dependerá da natureza do objeto a projetar, e da possibilidade de substituí-los por simulações numéricas. Quando não existe um processo de fabricação em série a construção de protótipos não pode acontecer. Outro aspecto importante da automatização do projeto é a possibilidade de utilizar a informação do modelo como base para um processo de fabricação assistida por computador (CAM).

2.11.3 Estrutura de um sistema CAD

O projeto é um processo iterativo de definição de um objeto. Portanto, o desenvolvimento de um sistema CAD deve basear-se no estabelecimento de um ciclo de edição suportado por técnicas de representação, de edição e de visualização do modelo. Num nível mais concreto, um sistema CAD deve realizar as seguintes funções (BRUN,86, pp.55):

- Definição interativa do objeto;
- Visualização múltipla;
- Cálculo de propriedades, simulação;
- Modificação do modelo;
- Geração de planos e documentação;
- Conexão com CAM.

É difícil estabelecer um modelo universal de sistema de projeto. Não obstante, em nível geral, e com base nas funções a desempenhar, pode-se estabelecer que todos os sistemas de projeto pedem ao menos os seguintes componentes:

2.11.3.1 Modelo

É a representação computacional do objeto que está sendo projetado. Deve conter toda a informação necessária para descrevê-lo, tanto em nível geométrico como de características. É o elemento central do sistema, os outros componentes trabalham sobre o mesmo. Portanto, determinará as propriedades e limitações do sistema CAD.

Subsistema de edição. Permite a criação e edição do modelo tanto em nível geométrico quanto especificando propriedades abstratas do sistema. Em qualquer caso, a edição deve ser interativa para facilitar a exploração de possibilidades

Subsistema de visualização. Encarrega-se de gerar imagens do sólido ou modelo. Normalmente interessa poder realizar distintas representações do objeto, bem por que existe mais de um modo de representar graficamente o objeto que está

sendo representado, para permitir visualizações rápidas durante a edição, junto com imagens mais elaboradas para avaliar o desenho.

Subsistema de cálculo. Permite o cálculo de propriedades do modelo e a realização de simulações.

Subsistema de documentação. Se encarrega da geração da documentação do modelo.

No ciclo de desenvolvimento de projeto com um sistema CAD, pode-se ver uma sucessão de modificações - visualização do modelo. Uma sessão de trabalho com um sistema CAD pode ser interpretada como a criação de um ' programa' , o modelo, que se especifica interativamente com uma seqüência de ordens de edição. Indubitavelmente, tanto as técnicas de representação e edição do modelo, como a visualização, o cálculo ou a documentação, dependem do tipo de objeto a modelar. Portanto, não é possível construir sistemas CAD universais. (Ver figura 19).

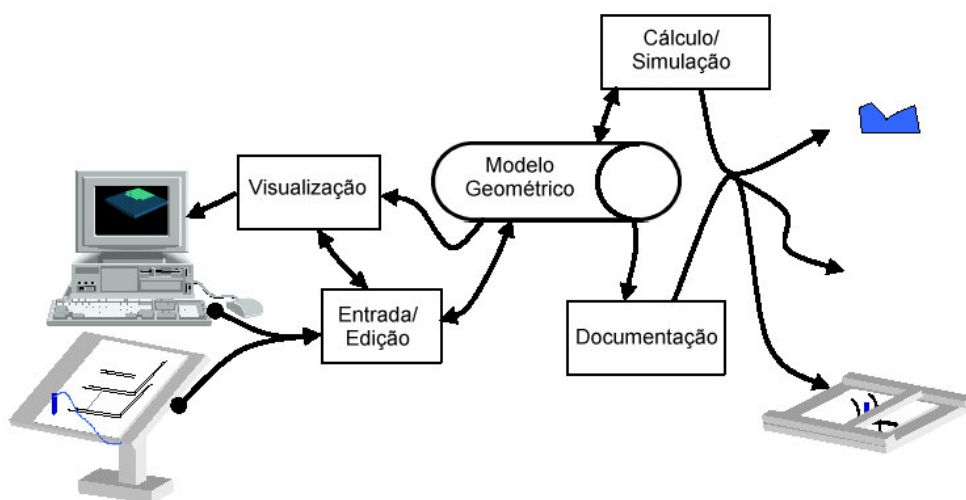


Figura 19: Esquema geral de um sistema CAD

Fonte: <http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>. Acessado em 10 nov. 2004

2.11.4 Campos de aplicação

Existe um grande número de aplicações que de um modo ou de outro automatizam parte de um processo de projeto. Atualmente, para quase todos processos de fabricação e elaboração dispõem-se de ferramentas informatizadas que ajudam este processo. Não obstante, os três campos clássicos de aplicação são a engenharia civil, o desenho industrial e o projeto (fabricação) de máquinas.

E possível encontrar no mercado aplicações específicas para um determinado campo junto com aplicações de tipo geral, que basicamente são editores de um modelo geométrico, sobre as quais se pode acoplar módulos de simulação o cálculo específicos para um certo campo específico. Este último é o caso do AUTOCAD (Autodesk), 3D-Studio (Autodesk) e MICROSTATION (Bentley).

O desenho industrial é o campo típico de aplicação e o que comercializa mais aplicações. Utiliza-se modelos tridimensionais com os quais são realizados cálculos e simulações mecânicas. A natureza das simulações depende do tipo de elemento a projetar. No projeto de veículos é normal simular o comportamento aerodinâmico; no projeto de peças mecânicas pode-se estudar a flexão, ou a colisão entre duas partes móveis. Entre as aplicações comerciais do tipo geral cabe destacar CATIA (IBM), I-DEAS (SDRC) e PRO/ENGINEER (PTC).

No projeto de máquinas e equipamentos pode-se encontrar desde aplicações para o projeto de placas de circuitos impressos e circuitos integrados. Neste último campo é fundamental a realização de simulações do comportamento elétrico do circuito que está se projetando. Muitas destas aplicações são 2D e incluem conexão com um sistema CAM.

Na Engenharia Civil e na Arquitetura pode-se encontrar aplicações 2D, especialmente em arquitetura, e aplicações 3D. As simulações realizadas podem estar relacionadas com o estudo da resistência e a carga do elemento.

2.11.5 Fundamentos

São várias as disciplinas que servem de apoio ao projeto assistido por computador, entre elas destacamos as seguintes:

2.11.5.1 Modelagem geométrica

Se ocupa do estudo dos métodos de representação de objetos com conteúdo geométrico. Para sistemas 2D nos quais a representação gráfica sejam esquemas se pode utilizar modelos baseados em utilização de símbolos. Para modelar objetos nos quais só interessa o contorno, (perfis, trajetórias, sapatos, carrocerias, fuselagens, etc.) pode-se usar métodos de desenho de curvas e superfícies bem como objetos sólidos (peças mecânicas, embalagens, moldes, Engenharia Civil, etc.).

Técnicas de visualização. São essenciais para a geração de imagens do modelo. Os algoritmos usados dependerão do tipo de modelo, podendo variar desde simples técnicas de desenho 2D, para o esquema de um circuito, até a visualização realista usando o traçado de raios ou radiosidade, para o estudo da iluminação de um edifício ou uma calçada. Além disso, podem ser usadas técnicas específicas para a geração da documentação e de curvas de nível, seções, representação de funções sobre sólidos ou superfícies.

Técnicas de interação gráfica. É o suporte da entrada de informação geométrica do sistema de Projeto. Entre estas, as técnicas de posicionamento e seleção possuem especial relevância. As técnicas de posicionamento são utilizadas para a introdução de posições 2D ou 3D. As técnicas de seleção permitem a identificação interativa de um componente do modelo, são, portanto essenciais para a edição.

Projeto da interface de usuário. Um dos aspectos mais importantes do desenho de uma ferramenta CAD é a criação de uma boa interface com o usuário.

Bases de dados. O suporte para armazenar a informação do modelo, quando se projeta objetos de uma certa dimensão é uma base de dados. O projeto de bases de dados para sistemas CAD estabelece uma série de problemas específicos, pela natureza da informação e pelas necessidades de mudança da estrutura com a própria dinâmica do sistema.

Métodos numéricos. É a base dos métodos de cálculo e simulação.

2.11.6 Evolução

O termo “Projeto assistido por computador” foi criado por Douglas Ross e Dwight Baumann em 1959 e apareceu pela primeira vez em 1960, em um anteprojeto do MIT, intitulado “Computer-Aided Design Project” (ROSS, 93). Naquela época já se havia começado a trabalhar com utilização de sistemas informatizados no projeto, fundamentalmente de curvas e superfícies.

Estes trabalhos se desenvolveram na indústria automobilística, naval e aeronáutica. Um problema crucial para este tipo de indústria era o desenho de superfícies, que se resolvia, sempre que era viável, instanciando curvas e superfícies conhecidas e facilmente representados (círculos, retas, cilindros, cones, etc.). As partes que não podiam ser desenhadas deste modo, como cascos de navios, fuselagem e asas de aviões ou carrocerias de automóveis, seguiam processos mais sofisticados.

O primeiro trabalho publicado relacionado a utilização de representações paramétricas para curvas e superfícies foi escrito por J. Fergusson em 1964 (BÉZIER, 1993), e explorava a utilização de curvas cúbicas e pedaços bicúbicos. Seu método era aplicado ao no desenho de asas e fuselagens para a Boeing.

Anteriormente, Paul de Castelju desenvolveu, em torno de 1958, um método recursivo para o desenho de curvas e superfícies baseado no uso de polinômios de Bernstein, na Citroën. Porém seus trabalhos não foram publicados antes 1974.

Pierre Bézier, trabalhando para Renault, desenvolveu a forma explícita do mesmo método de desenho, que hoje se conhece como método de Bézier.

No MIT, Steve Coons começou a desenvolver técnicas de desenho de superfícies baseadas na decomposição em partes que foram aplicados ao desenho de cascos de navios em 1964 (BARN, 1993).

O modelamento de sólidos teve um desenvolvimento mais tardio. Talvez, os primeiros antecedentes sejam os trabalhos desenvolvidos por Coons no MIT entre 1960 e 1965, que se centraram na aplicação de métodos numéricos a sólidos criados por varredura (extrusão).

Os primeiros trabalhos relacionados com o modelo de fronteiras se desenvolveram na Universidade de Cambridge (UK), ao final da década de 60. O desenvolvimento do modelamento de sólidos como disciplina se deve em grande parte aos trabalhos de Aristides Requicha e Herbert Voelcker na Universidade de Rochester durante a década de setenta (<http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>. Acessado em 10 nov. 2004).

Em 1974, Baumgart propôs a representação mediante arestas aladas (*windged-edges*) para B-rep e a utilização de operadores de Euler para editar a representação.

Ao final da década de sessenta e princípio de setenta, começou-se a desenvolver modeladores de sólidos. Entre eles cabe destacar EUCLID, desenvolvido por J.M. Brun na França, PADL-1 da Universidade de Rochester, Shapes do MIT, TIPS-1 desenvolvido por Okino. (<http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>. Acessado em 10 out. 2004)

2.11.7 Vantagens

Existem muitas razões para se instalar um sistema computacional para auxílio de projeto. Dentre elas pode-se destacar:

Para aumentar a capacidade do projetista/engenheiro: isso é obtido pela ajuda ao projetista a visualizar o produto e seus subsistemas e peças; pela redução do tempo necessário em sintetizar, analisar e documentar o projeto. O aumento de produtividade traduz-se não somente em custos mais baixos de projeto, mas também em prazos menores para sua conclusão;

Para melhorar a qualidade do projeto: Um sistema CAD permite análise de engenharia mais completa (da concepção ao dimensionamento final do produto) e propicia um número maior de alternativas para serem investigadas em pouco tempo. Erros dimensionais de projeto são reduzidos. Esses fatores combinados levam a um projeto melhor;

Para melhorar a qualidade de comunicação: O uso de um sistema CAD fornece melhores desenhos de engenharia, maior padronização nos detalhamentos, melhor documentação do projeto, menos erros dimensionais e maior clareza de detalhes, portanto, maior legibilidade. Esses fatores contribuem para uma melhor comunicação entre os utilizadores dos serviços da engenharia de produto;

Criação de um banco de dados para manufatura: No processo de criação de um produto em CAD, automaticamente é gerado um banco de dados com informações geométricas que podem ser enviadas para uma máquina de controle numérico. Na geração de documentos do projeto (notas de desenho, numeração das peças, etc.), também fornece um banco de dados para atividades de suporte em produção, tais como: CAP (*Computer Aided Planning*), MRP (*Material Requesting Planning*) etc.

O sistema CAD, bem implantado, pode aumentar significativamente a produtividade do departamento de projetos, através da implantação de vários tipos de técnicas complementares:

- Personalização do CAD, transformando rotinas do dia a dia de trabalho em formas práticas de utilização;
- CAE, simulações e cálculos feitos a partir do desenho de uma peça;

— CAM, integração computador com a máquina de comando numérico (http://www.dei.isep.ipp.pt/pac/ftpdei/pjac/docs/CAD_CAE_CAM_CIM.pdf. Acessado em 10 nov. 2004)

2.11.8 Desvantagens

As desvantagens são poucas, embora consideráveis. Destacam-se:

— Custo associado à aquisição do *Software*:

- Existem no mercado diversas soluções, umas económicas, outras nem tanto. O seu custo vai depender das necessidades específicas de cada Empresa.

— Custo associado à aquisição do *Hardware* específico que estas aplicações requerem. Normalmente estão associados a estas aplicações máquinas com características especiais, como por exemplo:

- Grande velocidade de processamento;
- Placas gráficas com velocidade de processamento elevada;
- Monitor mínimo recomendado de 17”(polegadas).

— Custo associado à formação de utilizadores:

- Apesar de já existirem bastante centros de formação, os preços relativos à formação necessária ainda não são propriamente económicos. A quantidade/qualidade dos cursos necessários, depende, obviamente, das necessidades específicas do departamento de projeto de cada empresa (http://www.dei.isep.ipp.pt/pac/ftpdei/pjac/docs/CAD_CAE_CAM_CIM.pdf Acessado em 10 nov. 2004)

3 SISTEMAS CAD APLICADOS À ENGENHARIA

3.1 O computador na engenharia

O computador atualmente tem aplicação crescente em processos de simulação simbólica, isto é, a simulação digital, que consiste essencialmente numa série de cálculos numéricos e de tomada de decisão, realizados segundo um conjunto de regras específicas e que também utiliza a matemática como uma das suas principais ferramentas.

Em geral, o engenheiro constrói um modelo geométrico que representa a forma e passa a trabalhar ou interagir com esse modelo nas demais etapas do projeto, nas quais irá definir materiais, dimensões e outras características do produto e analisar ou avaliar o projeto frente às restrições existentes e aos requisitos de desempenho esperados pelo produto desenvolvido.

O modelo geométrico criado pelo projetista se materializa por meio de modelos físicos, que geralmente são modelos reduzidos (maquetes), ou por meio de modelos gráficos, que geralmente são desenhos técnicos.

Assim, o desenho é entendido como um modelo gráfico que representa a forma e as dimensões dos objetos e desempenha diversos papéis importantes no processo de projeto, dentre os quais podem-se destacar:

- Como ferramenta gráfica para o desenvolvimento da criatividade, pois permite ao projetista fixar as idéias que surgem em alta velocidade no cérebro e que a memória de curta duração não consegue armazenar. Nesse caso, tem-se apenas esboços e rabiscos que muitas vezes só o projetista consegue entender, pois foram codificados ambigualmente, de acordo com uma linha de raciocínio própria.
- Utilizado para a comunicação de idéias de projeto entre dois ou mais projetistas ou entre projetistas e clientes. Nesse caso, apesar de serem

ainda quase sempre esboços sem precisão, os desenhos já seguem algumas regras e convenções que permitem a sua compreensão de uma forma praticamente universal, independente da linguagem falada. Na verdade, tentar descrever com palavras a forma de um objeto é muito difícil e, em alguns casos, virtualmente impossível.

- Importante recurso para o armazenamento das informações que compõem o projeto. De fato, o detalhamento do projeto baseia-se em especificações, memoriais e, principalmente, em desenhos executivos. Esses desenhos, além de seguirem determinadas normas e convenções, são quase sempre desenhos precisos, que trazem informações sobre materiais, dimensões, tolerâncias e outros detalhes de fabricação. Servem, portanto, como forma de comunicação entre a equipe de projeto e a equipe de produção.
- Ferramenta para a resolução de problemas e indagações geométricas que sempre surgem no desenvolvimento de um projeto. O Desenho Geométrico e a Geometria Descritiva, expressões gráficas das geometrias planas e espacial, desempenham um importante papel nesse sentido, fornecendo elementos conceituais e aplicados que permitem solucionar os problemas e elucidar as indagações.

Assim, o desenho, seja ele entendido como ferramenta de concepção, de comunicação ou de documentação das idéias de projeto, ou como ciência que permite o estudo do conceito de espaço e de seus atributos como forma, dimensão e posição relativa, é de fundamental importância para o engenheiro.

3.1.1 O desenho na era da informática

Apesar de o desenho ser um modelo adequado para a concepção e a representação da forma dos objetos, muitas vezes não é adequado para as tarefas de análise do projeto. Assim, em um passado recente, após a etapa de concepção da forma, muitas vezes era necessário construir modelos físicos ou matemáticos que representassem a geometria do produto para que as análises de engenharia pudessem ser realizadas por intermédio dos métodos até então disponíveis. Com a introdução do computador houve um grande avanço nos métodos de cálculo e

análise numérica, onde foram desenvolvidos métodos importantes, como por exemplo Método dos Elementos Finitos.

Entretanto, esses métodos exigiam que o objeto fosse representado matematicamente, ou seja, que tivesse suas características descritas numericamente para serem incorporados na memória do computador. Era necessário, assim, uma maneira numérica para representar a forma dos objetos. Isto fez com que surgissem as primeiras pesquisas no campo hoje conhecido como Modelamento Geométrico Computacional.

Por outro lado, os modelos numéricos, que descreviam a forma dos objetos, passaram a ser de interesse também dos engenheiros, preocupados com a automação dos processos de fabricação, principalmente de peças mecânicas. De fato, para o desenvolvimento das máquinas de controle numérico, que cortavam ou torneavam automaticamente peças metálicas, era necessário uma descrição numérica da forma.

As informações geométricas necessárias para a descrição da forma eram, em geral, extraídas dos desenhos gerados nas etapas iniciais do projeto. Mas, esse processo de codificação numérica da geometria a partir dos desenhos era uma tarefa imprecisa, cansativa e sujeita a erros.

A tentativa de eliminar essa tarefa de conversão da informação geométrica, do modo gráfico para o modo numérico, impulsionou a busca por meios de representação numérica de forma que pudessem ser utilizadas já nas etapas iniciais de projeto. Com isso, seria possível uma integração das várias etapas de projeto a partir de uma base de dados comum, armazenada na memória do computador. Todavia, percebeu-se que, se por um lado, a informação numérica é adequada à manipulação pelo computador, por outro, ela é muito difícil de ser manipulada pelo cérebro humano.

Assim, tornou-se necessário o desenvolvimento de ferramentas computacionais que permitissem, ao mesmo tempo, o armazenamento e a manipulação da informação geométrica no modo numérico e a introdução e

apresentação dessas informações no modo gráfico. Além disso, também era necessário que a interação do usuário com essas informações fosse feita graficamente. Ou seja, era necessário o desenvolvimento de dispositivos e programas computacionais que convertessem a informação geométrica do modo gráfico, adequado ao homem, para o modo numérico, adequado ao computador e vice-versa. Estava aberto o caminho para o desenvolvimento da Representação Gráfica Computacional.

3.1.2 Editores gráficos (sistemas CAD-2D)

Utilizando a tecnologia de tubos de raios catódicos, que havia sido desenvolvida com outras finalidades (monitores de radar, osciloscópios etc.) surgiram os primeiros monitores gráficos de vídeo acoplados aos computadores. Surgiram também as *light-pens*, que permitiam ao usuário interagir com os desenhos apresentados no monitor.

Com o aparecimento desses e de outros periféricos gráficos, foram desenvolvidos os sistemas computacionais que ficaram conhecidos pela sigla CAD (*Computer Aided Drafting*, ou desenho assistido por computador) que hoje chamam-se genericamente de “editores gráficos”. Esses sistemas permitem que as informações geométricas que constituem o desenho sejam criadas, manipuladas e apresentadas graficamente na tela do monitor e, ao mesmo tempo, armazenadas numericamente na memória do computador. Além disso, permitem também que essas informações, quando necessário, sejam enviadas às traçadoras gráficas (*plotters*) para registro definitivo em papel. Tais sistemas trouxeram diversas vantagens, entre as quais podemos citar:

- Facilidade de criação e alteração do desenho;
- Melhoria na qualidade gráfica, pois o traçado não mais depende da destreza dos desenhistas;
- Maior facilidade no arquivamento, recuperação e transporte dos desenhos;
- Possibilidade de reaproveitamento de informações já existentes, seja em projetos realizados anteriormente, seja em detalhes-padrão de bibliotecas;

- Possibilidade de organização das informações em diversas camadas (*layers*), o que facilita a criação de novas pranchas, combinando-se as informações dessas camadas;
- Maior consistência entre os desenhos gerados por diversos projetistas, pois estes passam a trabalhar sobre uma base de dados comum constantemente atualizada.

Apesar das vantagens que trouxeram na racionalização e mecanização das tarefas de desenho, os editores gráficos não propiciavam ainda a integração total das etapas de projeto, uma vez que os modelos numéricos utilizados para a representação da geometria do produto eram, na verdade, de natureza bidimensional, ou seja, eram uma coleção de linhas que representavam a geometria de uma ou mais projeções do objeto em uma superfície plana, do mesmo modo que os desenhos convencionais.

3.1.3 Modeladores geométricos tridimensionais (sistemas CAD-3D)

Foi somente no final dos anos 60 e início dos 70, que começaram a surgir os primeiros sistemas para representar a geometria do produto em sua natureza tridimensional.

Tais sistemas, hoje chamados de modeladores geométricos tridimensionais, podem ser classificados em três categorias: modeladores de arestas, de superfícies e de sólidos.

A grande vantagem desses sistemas está no fato de que o projetista deixa de trabalhar somente com as projeções do modelo e passa a trabalhar, de certa forma, diretamente com o próprio modelo em 3D. Por exemplo, se em um sistema tridimensional estiverem representadas simultaneamente na tela do vídeo diversas vistas de um objeto, ao se modificar uma dessas vistas (eliminar uma das arestas, por exemplo), as demais vistas serão automaticamente alteradas, pois a modificação terá sido feita no modelo que representa o objeto e não vista isoladamente.

Outra vantagem, nesse caso, é a possibilidade de visualizar o objeto (modelo tridimensional) de diversos pontos de vista e por diferentes sistemas de projeção. Assim, quando passa-se a trabalhar com modelos tridimensionais, está-se saindo do campo do desenho propriamente dito e entrando no campo do modelamento geométrico tridimensional.

3.1.4 O novo ambiente de projeto

É importante observar que as técnicas e as ferramentas do Modelamento Geométrico Computacional não trouxeram apenas melhorias de produtividade e qualidade para o projeto de engenharia, mas também mudaram radicalmente a maneira pela qual ele é desenvolvido.

No modelamento de sólidos, por exemplo, o conceito de composição das formas a partir de sólidos primitivos e operações lógicas Booleanas (união, diferença e intersecção), oferece um método completamente diferente para projetar objetos, sem paralelo na representação gráfica tradicional. É como se o projetista, atuando como escultor, modelasse a forma dos objetos, retirando ou acrescentando volumes.

A possibilidade de criação de formas geométricas a partir da varredura translacional ou rotacional de figuras planas e a possibilidade de combinação dos sólidos assim gerados também deram ao projetista uma grande flexibilidade para o modelamento dos objetos.

Por outro lado, a interface de alguns dos sistemas de modelamento de sólidos com o usuário colocaram à disposição do projetista operações análogas às utilizadas nos processos de fabricação, tais como furar, vazar, extrudar, tornear, puncionar e estampar. Tais sistemas de modelamento por *features* conferiram ao projeto um caráter extremamente lógico e intuitivo.

Enfim, o conceito de modelamento paramétrico, no qual a forma dos objetos é definida topologicamente por meio de parâmetros, restrições e relacionamentos entre as entidades geométricas, também tem modificado radicalmente a forma de projetar dos engenheiros. É como se o usuário fosse transmitindo a sua “intenção de

projeto” ao sistema, que as traduz em traçados geométricos. Assim, as progressivas alterações que o produto vai sofrendo são facilmente gerenciadas pelo sistema, que se encarrega de compatibilizá-las com as restrições e relacionamentos previamente estipulados.

É importante perceber, nesse contexto, que o modelamento geométrico de sólidos passa a ser uma ferramenta central no processo de projeto e, também, que ele não é uma simples ferramenta gráfica. O modelamento de sólidos não pode ser comparado às ferramentas convencionais de desenho, nem mesmo com editores gráficos bidimensionais. É comparável ao próprio desenho, entendido como ferramenta para o modelamento geométrico bidimensional.

Assim, apesar do projeto de engenharia continuar baseado na imaginação, no modelamento e na comunicação de idéias, a grande diferença está na forma como o modelamento e a comunicação de idéias são efetuados.

Num ambiente de modelamento geométrico computacional, os desenhos técnicos de engenharia, entendidos como representações gráficas no papel (vistas ortográficas, cortes etc.), passam a ser necessários apenas na fase final de documentação do projeto. Em alguns casos, inclusive nessa etapa, a representação gráfica em papel está se tornando desnecessária.

De fato, a documentação do ponto de vista do armazenamento das informações, fica mais prática na forma digital, pois os meios ópticos e magnéticos geram maior economia de espaço, durabilidade e facilidade de acesso à informação. Já do ponto de vista da comunicação com o setor de fabricação a documentação gráfica pode tornar-se desnecessária caso o processo de produção seja automatizado, pois as informações necessárias aos comandos de fabricação podem ser obtidas diretamente a partir do modelo computacional, descartando a etapa intermediária da geração de desenhos.

Assim, nesse ambiente de projeto, baseado no modelamento geométrico computacional, caso os desenhos sejam necessários, serão gerados

automaticamente a partir de um modelo sólido, em vez de construídos vista por vista, linha por linha, como acontecia anteriormente (LATERZA,1994).

3.2 A globalização da engenharia

Ultimamente, diversas palavras de ordem têm caracterizado as tendências dos mercados de bens, surgindo e substituindo outras com tamanha rapidez que só os mais ágeis aplicam seus conceitos. Dentre as mais recentes, encontra-se a palavra globalização, contrária à conhecida expressão reserva de mercado (PINHEIRO,1995)

Uma das conseqüências da globalização para as empresas brasileiras é o confronto de preço e qualidade com os produtos importados. Produtos de qualidade com ciclo de vida curto, que tornam-se obsoletos pouco tempo depois de seu lançamento, dificultando o outrora prático processo de pirataria.

A saída encontra-se no próprio problema: utilizar a globalização das tecnologias, processos e ferramentas aplicados pelos próprios concorrentes.

Na área da manufatura, o uso de ferramentas computacionais no auxílio ao processo produtivo engloba as ferramentas de CAE/CAD/CAM. A tecnologia de CAE (Engenharia Auxiliada por Computador) começa a difundir-se no Brasil, já precedida pelo CAD e pelo CAM, apesar de não ser recente mesmo por aqui. De uso muito comum nas montadoras do setor automobilístico e em diversos fabricantes de autopeças, a aplicação das ferramentas de CAE permite o ganho, por muitos cobijado, de qualidade, confiabilidade e produtividade.

A tecnologia de CAE consiste na construção de um modelo computacional para a simulação do funcionamento do produto desenvolvido, antes mesmo da fabricação de um protótipo.

Nestes modelos, os critérios de projeto são verificados e, no caso de alguma deficiência, outras soluções são simuladas até que se obtenha o resultado desejado.

As possibilidades são muitas e os critérios utilizados mais comuns são os de resistência estrutural, de análises de vibrações e estabilidade, passando por análises térmicas, eletromagnéticas, acústicas etc.

A utilização do CAE permite ainda uma redução de custos na elaboração de um produto. Os gastos de materiais e de tempo no processo de tentativa e erro com elaboração de protótipos é praticamente anulado.

A confiabilidade do processo é garantida na sua própria origem - a indústria aeroespacial depende apenas da boa aplicação do método. Como resultado consegue-se ainda uma redução no tempo de projeto, e um ganho de produtividade que permite atender a mais uma tendência do mercado: a redução da vida do produto.

O desenvolvimento do CAE segue junto com a informática. Até alguns anos atrás, os problemas de certa complexidade eram solucionados em computadores de grande porte, com uma semana de processamento e entrada de dados via cartão.

Atualmente, chega-se aos resultados dos mesmos problemas com poucas horas de processamento em um PC (Computador pessoal). E, o que é melhor, a utilização dos software CAE tornou-se tão amigável e interativa como um CAD, possibilitando um ganho de produtividade ainda maior sobre uma ferramenta já destinada para esse fim. (PINHEIRO,1995)

3.3 Prototipagem rápida

O maior desafio da indústria na atualidade é reduzir o tempo entre a concepção e o lançamento de um produto. Na maioria dos produtos o investimento em ferramental ou moldes e estampos, meios pelos quais eles são fabricados em massa, é o mais pesado ciclo de desenvolvimento e a existência de protótipos minimiza os riscos na construção de ferramentas.

O modo convencional de construção de protótipos é caro e demanda muito tempo. Com a necessidade de lançar o produto o mais rápido possível, muitas vezes

essa fase é reduzida ou simplesmente deixa de existir, aumentando o risco de realizar modificações ou correções no produto, já com os moldes prontos.

O custo de modificar um produto na fase de ferramental é maior do que se teria, se o tivesse modificando na fase de projeto. Para alterar uma peça de um *walkman*, por exemplo, para que se ajuste perfeitamente ou se corrija um erro, saltasse de um custo de menos de R\$ 10 na fase de projeto para R\$ 100 mil, caso o equipamento já esteja em fase de produção.

Fica claro, então, que protótipos físicos e palpáveis são essenciais. Eles mostram para os projetistas detalhes e problemas particulares difíceis de serem notados nos desenhos 2D e mesmo em modelos 3D. Os protótipos ornaram os desenhos e as idéias mais claras, permitem a comunicação entre grupos, que podem opinar, sentir as formas, questionar detalhes com mais convicção, contribuindo para a evolução mais rápida do projeto e aumentando as chances de sucesso do produto no mercado ou aplicação.

A utilização efetiva de protótipos é um dos segredos da qualidade de um produto. Portanto, torná-los mais baratos e rápidos é bastante desejável.

Nesse cenário, pode-se considerar bastante óbvio que a prototipagem rápida é fator decisivo para a competitividade das indústrias que dependem do lançamento de produtos com características mais modernas e que cada vez respondam mais rapidamente ao mercado.

O uso da tecnologia de prototipagem rápida tem sido muito intenso em todo o mundo e esse mercado vem mostrando, ano após ano, um crescimento bastante sólido. (MORO,1997)

Desenvolveu-se ao longo desses anos (90), com a crescente demanda por esse tipo de protótipo, um mercado muito forte de prestadores de serviço em prototipagem rápida, permitindo a empresas de todos os portes beneficiarem-se da tecnologia sem ter que investir em equipamentos e mão de obra (altamente especializada), com relação custo/benefício conveniente.

Essas empresas, os birôs de prototipagem, acabaram por se especializar em vários outros serviços complementares como ferramentas-protótipo, moldes em resina e silicone para injeção de poliuretano e *Rapid Tooling*, uma maneira de conseguir peças em séries pequenas, no material definitivo em que será produzida a peça, e outros, aumentando mais uma vez a gama de possibilidades disponível antes apenas em empresas de grande porte.

Os serviços de CAD, parte fundamental desse processo, também contam com prestadores de serviço à altura das necessidades das pequenas e médias empresas, fechando um ciclo de desenvolvimento de produto de alta qualidade, prazos reduzidos e preços proporcionalmente menores.

Do ponto de vista do processo utilizado, os equipamentos de prototipagem rápida varrem uma extensa gama de aplicações e processos e, em alguns nichos, há vários fabricantes com soluções similares.

No segmento de peças relativamente pequenas (em torno de 300 mm x 300 mm x 300 mm) e com necessidade de precisão mais acurada, colocam-se, principalmente, a estereolitografia (SLA), o processo que cura a resina por UV (SGC), a sinterização a laser de material em pó (SLS) e a micro extrusão de material plástico (FDM e *Inkjet Modelling*).

Para *mock-ups* e peças de maior porte e de acabamento um pouco mais grosseiro, indica-se o processo de papel cortado e colado, camada a camada (LOM); para obter peças fundidas em pequenos lotes, o processo indicado é o que age diretamente em areia e resina curada (DSPC).

Afirmar qual é a melhor máquina ou processo faz pouco sentido, visto que cada uma se adequa melhor a um determinado tipo de aplicação e investimento. (MORO,1997)

No Brasil, apesar da globalização estar avançando a passos largos, o uso da tecnologia de prototipagem rápida ainda é muito incipiente, mesmo nos mercados com competição direta com produtos importados, como o de eletroeletrônicos.

Essa competição se dá de modo desigual, pois os concorrentes estrangeiros há muito buscam maneiras efetivas de diminuição de *lead-time*, ou tempo total do ciclo de desenvolvimento, e parte importante dessa diferença é conseguida com o uso intenso de automação de projeto, com CAD/CAM/CAE, sistemas que permitem a aceleração das etapas pelas quais um produto tem que percorrer, desde sua concepção até o início de sua produção em série, passando por estudos, análises, apresentações e usinagem CNC, coisas que ainda não são unanimidade entre os fabricantes nacionais, sem falar da prototipagem rápida, que ainda é uma ilustre desconhecida.

É importante que se analise o investimento feito em diminuição de ciclo de desenvolvimento menos como um custo que se tem de evitar e mais como uma maneira de chegar mais rápido ao mercado, ganhando assim fatias importantes desse bolo, pois nada pode convencer um consumidor de que ele deve comprar um produto se, pelo mesmo preço, ele encontra outro com mais funções ou com um visual mais atual.

Sendo assim, quando um concorrente lança um produto melhor a tendência é que fatalmente suas vendas vão cair, inviabilizando que se continue a fabricar. Portanto, a data de “exclusão” de um produto não depende de seu fabricante e, sim, do mercado.

Continuando nessa linha, pode-se ver então que a única maneira de conseguir aumentar o tempo de vida de um produto é lançando antes, com o benefício adicional de estar “excluindo” precocemente um produto de seu concorrente, o que provavelmente causará um aumento de participação no mercado desse fabricante.

Quando se fala em tempo de vida de seis meses a um ano, lançar um produto em um mês antes significa um ganho muito expressivo, mas parece que isso não é muito levado em conta por uma grande parte dos empresários.

No Brasil conta-se com dois principais prestadores de serviço nessa área que são a Robtec, que trabalha com estereolitografia e com FDM, e a Flag, na área de SLS.

Algumas empresas e universidades, todas de grande porte, possuem ou já negociaram equipamentos para seu uso interno, como no caso da Azaléia, fabricante de calçados, com várias máquinas para fazer protótipos das diversas famílias de produtos, cada um deles com a necessidade de ser construído em várias numerações diferentes, gerando grande quantidade de protótipos.

Comparados com o exterior, o Brasil está em fase embrionária no que se refere a prototipagem rápida, mas isso pode ser revertido a partir do envolvimento da comunidade universitária formando mão de obra e divulgando a tecnologia; dos bancos e entidades de fomento ao desenvolvimento, fazendo pelo menos o cadastramento dessas máquinas, informando-se sobre suas características e seu potencial de catalização de crescimento econômico.

Esse processo passa principalmente por uma conscientização dos empresários, que devem atentar para o fato que competitividade não se conquista simplesmente acompanhando tendências de produtos, mas sim tendências e realidades de desenvolvimento de produto.

Tudo isso deve ser aglutinado para explorar o latente potencial criativo do profissional brasileiro, tornando isso um diferencial competitivo e não uma forma de contornar as dificuldades, dando “jeitinhos”, correndo atrás, corrigindo depois, superando falta de equipamentos, treinamento ou metodologias.

A prototipagem rápida tem um papel fundamental nesse roteiro. Falta agora ser incorporado efetivamente no processo industrial.(MORO,1997)

3.4 A criação de novos produtos e a tecnologia CAD/CAM/CAE

A indústria tem passado por profundas mudanças com a adoção de novas tecnologias provocando aumento na complexidade das informações necessárias ao desenvolvimento de novos produtos. Nela estão sendo aplicadas novas formas de trabalho. A utilização da engenharia simultânea e os team work exigem metodologia de trabalho em que os participantes formem grupos multidisciplinares e multifuncionais.

Os sistemas CAD foram desenvolvidos para auxiliar e integrar as áreas de desenho e engenharia, permitindo essa facilidade e flexibilidade na criação e manufatura de produtos aumentando a produtividade com redução dos custos.

Os modernos meios de informática que agem nessa área permitem a aplicação de novas técnicas para administrar o fluxo da informação, desde a criação até a confecção final do produto sem a utilização de desenhos, formulários em papel ou eletrônicos.

A idéia de desenvolvimento total e integrado entre áreas de trabalho na indústria envolve desde pesquisa de mercado, design, engenharia de produto, engenharias de projetos até os processos de manufatura. Todas as áreas envolvidas podem utilizar a tecnologia CAD para visualizar ou processar informações dos novos produtos.

As novas ferramentas de trabalho criadas a partir do planejamento global das atividades de criação de produtos permitem uma integração com a tecnologia “Office”, utilizada nos escritórios e os sistemas CAD utilizados nos estúdios de design, departamentos de engenharias, ferramentarias ou canteiros de obra.

A tecnologia CAD/CAM/CAE tem por objetivo básico satisfazer as necessidades de criação, interpretação e execução de informações, substituindo os antigos sistemas de trabalho em pranchetas em que, através de linhas e projeções de vistas nos desenhos em papel, criavam-se os produtos.

Os atuais modeladores sólidos estão revolucionando o desenvolvimento de novos produtos, pois, com a elaboração de um modelo eletrônico, podemos visualizar cores, formas, volume, simular movimentos, aplicar testes de impacto, criar simulações de estampagem, processos de usinagem, entre outros.

Através dos modeladores sólidos, caminha-se para uma nova fase da criação de produtos, onde possivelmente não existirá o desenho técnico plotado em papel, listas dos componentes do projeto, formulário ou manuais técnicos: as informações necessárias ao projeto estarão agregadas ao modelo eletrônico.

As novas formas de leitura das informações, verificação de medidas ou tolerâncias, poderão ser vistas através de programas auxiliares instalados em microcomputador, *workstation* ou *notebook* e utilizadas no chão de fábrica, canteiros de obra, na engenharia civil, ou em qualquer lugar distante do centro de desenvolvimento de projeto (BARBERATO, 2001).

3.5 O CAD 3D

Os profissionais da área técnica têm acompanhado nos últimos anos a crescente utilização de sistemas CAD tridimensionais na indústria, facilitada por PCs cada vez mais poderosos e baratos. Foi derrubado o conceito de que trabalhar com modelos virtuais 3D é difícil e caro, pois os modernos sistemas CAD 3D são mais fáceis de usar e muito mais produtivos do que os sistemas 2D tradicionais.

Pensando em termos de desenhos 2D para manufatura, os sistemas CAD 3D facilitam muito a criação e atualização desses documentos, pois as vistas e cortes são gerados automaticamente a partir do modelo 3D. Além disso, muito se tem falado e escrito sobre a eliminação do papel da indústria (*paperless*), fazendo com que os desenhos sejam acessados digitalmente através de *softwares* visualizadores, ao invés de serem impressos e distribuídos em papel. Mas será que os desenhos com perspectivas 2D, mesmo digitais, são efetivamente necessários?

Uma nova geração de *softwares* visualizadores de 3D está possibilitando a eliminação do trabalho de detalhamento, com o conceito de *drawingless*, contrapondo-se ao paradigma de que o desenho 2D é indispensável para comunicar informações do produto. Os visualizadores tridimensionais oferecem os seguintes benefícios para a empresa de manufatura:

- Permitem que os usuários não-técnicos, que não sejam da engenharia, tenham acesso às informações do projeto através de uma interface simples e intuitiva;
- Facilitam visualização, medição e *markup* em PCs de baixo custo, para orçamento, *mockup* digital, revisão de projeto e usinagem, etc.;
- Acessam modelos 3D e desenhos 2D gerados em diferentes sistemas CAD;
- Trabalham com arquivos que sejam ao mesmo tempo leves e informativos;
- Reduzem ou eliminam o uso de papel (*paperless*) e a geração de desenhos (*drawingless*).

A usinagem de peças já é freqüentemente executada com sistemas CAM lendo diretamente o modelo 3D da engenharia, sem o uso de desenhos 2D. Atributos, notas, símbolos de solda, tolerâncias e outras informações podem estar inseridas no modelo 3D, dispensando a geração do desenho. Uma instrução de montagem pode ser fornecida sob a forma de uma animação com alto grau de realismo.

Os benefícios do *drawingless* são diversos: eliminação do tempo gasto na preparação de detalhamentos, ausência dos erros na interpretação de desenhos, melhor relacionamento com fornecedores, gerenciamento de arquivos facilitados, elaboração de orçamentos, revisão de projetos de forma colaborativa, etc.

A realidade brasileira é de fato contrastante. Ao mesmo tempo em que muitas empresas ainda não se convenceram das vantagens de migrar de 2D para 3D, algumas poucas já estão passando para o *paperless*, e um número ainda mais reduzido de empresas já vislumbra o *drawingless*. As empresas que partirem na

frente ficarão com uma volta de vantagem nesta corrida pela competitividade, (MOTTA, 2001).

3.6 O CAD

Os sistemas CAD/CAM nasceram para melhorar os desenhos de prancheta, mas hoje, em alguns sentidos, pode ser ameaça para operários, técnicos, engenheiros, projetistas e desenhistas. Conceitos à parte, o CAD não é mais somente uma ferramenta para projetos, quando prevalecia a tecnicidade do seu uso. (YOSHIDA, 2002)

Hoje, leigos sem formação técnica podem aprender a utilizá-lo profissionalmente a partir de cursos com duração de menos de 40 horas. Vê-se muitas pessoas aprendendo CAD, desenhando plantas de casa, moldes de vestimentas ou até mesmo trabalhos de arquitetura, sem nunca ter freqüentado uma escola técnica de desenho, tendências verificadas no Japão há sete anos. Lá, a profissão de copista é regulamentada pelo governo, que aplica testes periódicos que podem render aos candidatos uma certificação do Ministério do Trabalho. O mercado de CAD é um mercado milionário ao alcance de usuários de PC e tende a abrigar muitos profissionais não regulamentados trabalhando em AEC, mapa, diagrama, desenho animado, coisas que acontecem no PC a partir de um *software* de CAD instalado. Na outra extremidade, entretanto, reina a outra dimensão do gigante CAD que, provavelmente, muitas pessoas jamais terão a oportunidade de conhecer ou usar. Estes são os sistemas de manufatura, a exemplo da UGS e da Dassault Systemes, que se propõem a gerir as atividades industriais da General Motors, construir os jatos da Boeing ou carros do restrito mundo tecnológico da Fórmula 1 (YOSHIDA, 2002)

O CAD mudou a forma de trabalhar e os pensamentos na área de manufatura, forçando uma readaptação nas habilidades dos profissionais de projetos que tiveram de abandonar o manuseio de régua, esquadro e compasso. Na década de 80, os sistemas CAD/CAM preocupavam desenhistas e operadores de máquinas. Os sistemas atuais preocupam os engenheiros. Mas como diria o escritor Içami Tiba, “cada complicação é uma nova oportunidade”. Concernente ao alto grau de

instrução dos usuários e desenvolvedores de sistemas CAD/CAM, o *market-share* é disputado palmo a palmo, não se dando espaço para aventuras ou improvisações, possibilitando a composição de grandes sistemas por pequenos fabricantes, além da popularização de produtos usados antes apenas para uso corporativo.

Em recente anúncio, pessoas ligadas ao departamento de *marketing* do Catia, da IBM, prometiam versão que rodasse em PC com Windows NT. *Software* como a MicroStation V*, da Bentley, inovam conceitos de CAD e anunciam colaboração, parceria e desenvolvimento, além de mudar a forma de comercializar o software. Agora, o pagamento pode ocorrer por tempo de duração do projeto. Termos como Ged, PDM, Erp e CRM já são anunciados como integráveis por vários fabricantes. O trio CAD/CAE/CAM, generalizado Cax, move o mundo é a mais poderosa ferramenta do homem do século XXI para materializar os seus pensamentos. Por este motivo, é bom estar por perto para vigiar os seus passos (YOSHIDA, 2002).

3.7 Novas perspectivas para aplicações de CAD

O ciclo de um projeto mecânico é dividido, basicamente, na fase de concepção e detalhamento. A fase de concepção é caracterizada pela intensiva aplicação da engenharia, da tecnologia, da criatividade, enfim, é a fase na qual, efetivamente, agregamos valor ao produto final. A fase de detalhamento é aquela na qual geramos desenhos 2D para fabricação. (SOLINHO, 2002)

Com a introdução ao longo dos últimos cinco anos dos modeladores de sólidos baseados em features, o ciclo de projeto foi bastante reduzido. Grande parte das horas absorvidas pelos sistemas CAD 2D para detalhamento pôde ser realocada para a fase de concepção, pois com os atuais CAD 3D, o detalhamento é automático. Dessa forma, o tempo do engenheiro, que antes era usado para revisão e alteração dos desenhos, foi redirecionado para atividades mais nobres.

Além da redução do ciclo de projeto, os sistemas CAD 3D modificaram o seu conceito tradicional. Como o projeto mecânico está relacionado a mudanças, os sistemas paramétricos permitiram, efetivamente, que engenheiros e projetistas pudessem experimentar mais alternativas de projeto, visualizar melhor os projetos,

verificar interferências de montagem, simular virtualmente movimentos, e, o mais importante, dada as características de associatividade dos modelos 3D com os desenhos 2D, que todas as alterações realizadas no protótipo virtual em 3D fossem, automaticamente, reproduzidas nos desenhos 2D.

A perspectiva para o futuro próximo é que, cada vez mais, a atividade de detalhamento, revisão e alteração em 2D absorva menor tempo do engenheiro, pois, além dos avanços surpreendentes no que diz respeito às *features*, performance e facilidade de uso, os desenvolvedores estão empenhados na geração de Interfaces de programação de aplicativos (API) cada vez mais robustas.

Ao contrário do passado, quando para se ter aplicativos integrados aos sistemas CAD era preciso partir para uma solução *high end*, hoje já é possível usar soluções *mid range* e integrá-las na mesma tela com os melhores aplicativos disponíveis no mercado mundial nas diversas áreas, tais como: Fea, projetos de moldes, análise de tolerâncias, cabeamento elétrico, prototipagem rápida etc.

Toda essa integração é fruto do novo conceito de interface de programação de aplicativos que permite, hoje, que cada empresa monte a solução de CAD adequada às suas necessidades, integrando aplicativos para otimização de suas tarefas específicas.

Um exemplo disso são os aplicativos de Fea (USP). A tecnologia que antes era restrita a engenheiros com cursos de pós-graduação, hoje está disponível, a custo acessível, e com interfaces que possibilitam sua aplicação ao nível do projetista.

O CAD, entendendo-o agora como um conjunto de ferramentas de projeto, cada vez mais oferecerá recursos aos engenheiros projetistas, possibilitando ainda mais o aumento da produtividade e qualidade, e, efetivamente, os *softwares* atuarão como uma ferramenta de projeto assistido e não somente como uma simples ferramenta de desenho 2D (SOLINHO, 2002).

3.8 3D na engenharia

Desde o surgimento de tecnologias em 3D, tem-se dado consultorias sobre a real necessidade de seu uso na engenharia. A primeira pergunta que faz-se é: seu produto é em 3D? Mais ou menos 97% das respostas referem-se a opção sim.

Claramente, uma solução de CAD 3D seria essencial para a engenharia. Se o mundo real é em 3D, seu produto não deve ser simplesmente uma chapa plana.

Mesmo clientes que entraram para o “mundo tridimensional” desde o tempo que ainda não podíamos ver ou rotacionar uma peça em “*shade*”, puderam obter um projeto completo de uma máquina, além de disponibilizar esses modelos para seus fornecedores. Isso sem ter a necessidade de utilizar recursos só encontrados em *softwares* caros e de grande porte. Com o advento do 3D, bons resultados começaram a ser obtidos e os clientes já não pensam mais em voltar ao 2D.

Nos últimos anos, com a popularização dos PC's e, conseqüentemente, com os preços de máquinas cada vez mais baixos, o software CAD 3D evoluiu muito.

Quanto à implantação de um CAD 3D na Engenharia, existem peculiaridades. Mas as mesmas dificuldades aparecem no trabalho com todo *software*. Pode-se dizer que ele é mais fácil de ser implantado do que um CAD 2D, devido à cultura da informática já estar disseminada.

Conseguem-se ótimos resultados com engenharias em que os projetistas estão utilizando 3D como ferramenta de projeto. Uma pergunta feita seguidamente é: quanto, em produtividade, conseguimos com o uso do 3D? A resposta é interessante, pois o número pode variar. Mas sabe-se que é quase imensurável sua produtividade e que nunca é menor que o 2D. Diz-se que com o 3D o cliente não vai ganhar somente em velocidade de projeto. Podemos citar casos em que se ganhou em redução do peso do produto, tempo de colocação do produto no mercado (*time to market*), produção (desenhos mais fáceis de serem compreendidos), redução do

ciclo do projeto, melhor comunicação da engenharia com outros setores (*marketing*, vendas, qualidade) e obviamente, economia de dinheiro (STUTZ, 2002).

Pode-se citar ainda que a maioria dos usuários que utilizam os recursos 3D consegue chegar ao produto com erro “zero”, ou seja, problemas como peças que não se encaixam ao serem fabricadas, quantidade de peças a serem produzidas, entre dezenas de outros fatores, simplesmente não fazem mais parte dos problemas da engenharia. Surge, então, outra questão: por que muitas engenharias ainda utilizam o 2D? O uso do CAD 2D trouxe ganhos para as engenharias, mas sua época acabou. O que faz um cliente optar em usar o 3D é aquilo que o faz ter a visão de que a tecnologia é produtiva e lucrativa. Aqueles que não conseguem ter essa visão sempre ficarão na prancheta ou no 2D, com menos lucro (STUTZ, 2002).

3.9 A integração no futuro será num nível mais alto

3.9.1 Projetistas e fabricantes irão compartilhar informações de forma mais interativa

Espera-se que em 2014, o projeto de produtos continue sendo peça importante na economia mundial. O número de fornecedores de *software* para automação de projeto será menor do que é hoje. Pode-se arriscar, no entanto, que nesse período o mundo terá completado a transição de 2D para 3D. No futuro, projetistas e fabricantes irão compartilhar informações e se comunicar em um nível muito mais alto de integração. Os desenhos ainda serão uma forma de troca de informações, mas informações dimensionais e de tolerâncias terão sido movidas do modo “texto” para o modo “entidade inteligente”. O impacto será significativo. Produtos serão construídos corretamente na primeira vez, erros serão minimizados, interferências em montagens serão eliminadas, custos serão reduzidos e a qualidade e a confiabilidade dos projetos e dos produtos serão aumentadas. (McELENY, 2004)

É importante avaliar continuamente novas tecnologias e estar sempre ponderando a decisão de quando comprar tecnologia e quando construir novas tecnologias.

Espera-se que com essa decisão de “fazer versus comprar” de modo que entregue-se os melhores produtos ao mercado tão rapidamente quanto possível, a um preço mais acessível (McELENY, 2004).

3.10 Integração de sólidos e superfícies

3.10.1 Integração das duas técnicas permite obter modelos virtuais mais confiáveis e reduzir prazos de projeto

Hoje, quando se fala em tecnologia, informações e opiniões de alguns meses atrás podem estar obsoletas devido à velocidade com que as mudanças e evoluções estão acontecendo no mundo. Pode se dizer o mesmo sobre o universo CAD 3D, porém com algumas ressalvas. As tecnologias mais utilizadas atualmente para a geração de modelos matemáticos 3D (superfícies/sólidos) estão disponíveis há pelo menos 20 anos. O que temos é uma evolução muito forte nas aplicações dessas tecnologias gerando uma verdadeira revolução, embora todas utilizem a mesma base tecnológica.

A comunidade CAD/CAM/CAE no Brasil convive com uma realidade que pode ser melhorada. A velocidade de atualização dos *softwares* disponíveis no mercado – sejam tradicionais ou recentes – supera o ritmo de atualização dos usuários gerando uma defasagem entre as versões atuais e as que estão em uso prático. Cada vez mais os usuários estão procurando nas ferramentas disponíveis nas versões dos softwares que utilizam, alternativas para conseguir atingir seus objetivos.

Nas áreas de Engenharia e Arquitetura, a geração de modelos 3D é a base de qualquer projeto, seja ele de grande, médio ou pequeno porte. Assim, cada usuário/projetista busca a maior liberdade possível na construção das formas acreditando que a tecnologia seja sempre uma aliada e não um fator limitante na hora de projetar. Essa busca faz com que se destaquem os usuários de CAD (juntamente com suas criações) que se dedicam a buscar conhecimento nos

conceitos de geração de modelos 3D dentro das duas tecnologias disponíveis no mercado: sólidos e superfícies.

A descoberta das ferramentas básicas de modelamento tridimensional em CAD se tornou uma tarefa relativamente simples devido à evolução significativa da interface dos *softwares* com o usuário. A motivação maior está em conceitos e técnicas que realmente irão fazer diferença, independente do tipo de *software* de CAD, podendo assim criar e manter um padrão diferenciado de projeto em cada departamento, sem “engessar” a criatividade de uma equipe.

Para que esses conceitos de projeto tenham um diferencial na prática, a liberdade de criação deve ser preservada, pois conceitos não podem ser confundidos com procedimentos. Conceitos definem metodologias, e procedimentos de trabalho, ações bastante objetivas.

Em um ambiente de projeto diferenciado, o líder de projeto (coordenador, gerente, chefe, encarregado etc.) apresenta “o que” precisa ser projetado e não “como” projetar. Ele apresenta as definições técnicas e de estilo necessárias para se iniciar um projeto e não a maneira de como fazê-lo. Em decorrência disso, os projetistas têm a liberdade e a responsabilidade de encontrar caminhos cada vez mais criativos, confiáveis e de prazo coerente para se atingir o objetivo final: projeto liberado. A palavra “integração” assume um sentido importante entre esses profissionais técnicos.

No mundo CAD isso se mostra necessário quando as duas tecnologias de modelamento 3D (sólidos e superfícies) precisam ser utilizadas, seja no início, meio ou final de um projeto, para obter modelos 3D mais fáceis de se modificar ou de ajustar, com qualidade superior e em tempo cada vez mais reduzido (ANDRADE, 2004).

Com o surgimento da tecnologia de modelamento por sólidos, a mais recente e mais difundida, com suas facilidades absolutamente superiores em relação à tecnologia de modelamento por superfícies, esta foi perdendo participação nos

processos de modelamento, se tornando coadjuvante e em alguns casos até sendo esquecida.

Vale ressaltar que alguns departamentos como os de criação e *design* das indústrias automobilísticas não poderão abolir a utilização da tecnologia de modelamento por superfícies devido à necessidade de se manter os conceitos e os *softwares* disponíveis. Porém, na maioria dos departamentos de engenharia das empresas que utilizam CAD 3D, a tecnologia de modelamento por sólidos é largamente utilizada e, em muitos casos, representa a única opção.

Quando alguns profissionais se deparam com a necessidade de gerar modelos 3D íntegros, com regiões de formas “comportadas” e outras de formas complexas e alisadas, surge também a necessidade de utilizar *softwares* híbridos, que trabalham com a tecnologia de sólidos e superfície de maneira integrada. Nesse momento, aqueles profissionais que se dedicaram a buscar conhecimento através dos conceitos e que têm o conhecimento das duas tecnologias saem na frente.

Independente do *software* utilizado, um modelo 3D híbrido em sólido paramétrico e validado quanto à geometria pode manter oculta a tecnologia de superfícies utilizada durante boa parte da sua geração assim como o modelo de um produto completo todo em superfícies também pode esconder que no início da sua criação foi utilizada largamente a tecnologia de sólidos.

Para alguns, conseguir ao final de cada projeto modelos 3D íntegros quanto à geometria, com arquivos pequenos, fáceis de se modificar/ajustar e dentro das exigências de forma para a função do produto é apenas mais uma meta dentre várias.

Mas para muitos projetistas (àqueles que têm uma visão mais abrangente) é uma exigência, pois só assim conseguirão, ao final dos projetos, manter a qualidade exigida pela empresa e pelo mercado, dando sempre um passo a frente na busca constante pela excelência (ANDRADE, 2004).

4 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

4.1 Considerações iniciais

As ferramentas utilizadas no contexto deste trabalho acadêmico buscando atribuir maior confiabilidade, foram respectivamente o questionário, a entrevista e a análise documental.

O questionário foi utilizado por constituir-se em uma fonte confiável, pois não se discute o que foi formalmente registrado, afastando-se assim a crítica da validade dos resultados de uma pesquisa.

Segundo GIL Apud LABES (1991), o questionário é uma técnica de investigação composta por um número limitado de questões, apresentadas por escrito às pessoas, tendo por objetivo o conhecimento de opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, situações vivenciadas. Muitas vezes opta-se pelo emprego do questionário pelo seu poder em atingir um público numeroso, geralmente disperso geograficamente, fato que dificulta a utilização de outras técnicas de levantamento.

A entrevista estruturada mantém o foco do problema a ser resolvido de uma forma dirigida. Este tipo de entrevista adquire detalhes específicos a respeito de determinado aspecto do problema antes de passar para outros pontos (DURKIN, 1994). A entrevista estruturada pode ser utilizada quando é necessária uma informação específica a respeito de um tópico estabelecido. As vantagens deste método são: mantém o foco em um determinado assunto, fornece informações detalhadas e relações estruturadas entre os conceitos. As desvantagens encontradas são: alguns conceitos não relatados na entrevista podem não ser abordados; fornece uma compreensão fraca do conhecimento procedural, como regras ou estratégias para solucionar problemas (<http://www.eps.ufsc.br/disserta99/camargo/cap3.html>. Acessado em 10 nov. 2004).

As entrevistas buscaram captar a impressão pessoal do usuário, através de um procedimento estruturado e questões particulares e específicas deste processo de mudança no contexto do ambiente profissional (LABES,1998).

Na definição de MARCONI e LAKATOS *apud* SILVA (1990), "a característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias."

Já a análise documental buscou, de maneira mais formal, detalhes do planejamento, execução e implantação deste processo de mudança, (LABES,1998).

4.2 Propósito da pesquisa

Neste estudo buscou-se analisar empresas que nos últimos anos adotaram as ferramentas CAD em substituição às ferramentas tradicionais do desenho no seus processos de projeto. As ferramentas selecionadas para coleta de dados serão o questionário, entrevista e a análise documental, pois são técnicas que se mostram muito pertinentes se aplicadas as pessoas que vivenciaram o processo evolutivo do projeto executado de forma tradicional (desenho na prancheta) para o desenho executado no computador (CAD), bem como seus efeitos e qualidades em relação aos objetivos de suas tarefas e nas metas da empresa. Portanto buscou-se suas opiniões, críticas e avaliações sobre os fatores determinantes neste processo de mudança. Muitas empresas fazem uso deste procedimento, elaboram e aplicam regularmente este tipo de questionário, para avaliar o grau de satisfação de seus funcionários e clientes.

4.3 Método científico

Associou-se à este processo o método prospectivo através de questionários e entrevistas e a análise documental.

O método prospectivo foi utilizado com o objetivo de buscar a opinião dos profissionais envolvidos diretamente na questão da migração do projeto pelo sistema

tradicional na prancheta para o sistema CAD. Foram baseados em questionários e entrevistas com os usuários para avaliar o nível de satisfação ou insatisfação com o processo de mudança, suas necessidades e sua visão sobre os fatos (JORDAN,1998).

A análise documental foi utilizada com a finalidade de dar suporte formal aos aspectos detectados pelo procedimento prospectivo de coleta de dados.

4.4 Seleção dos sujeitos

Como o objetivo desta pesquisa é avaliar a migração do processo de projeto, desde a sua forma tradicional até a utilização de ferramentas CAD, procurou-se direcionar para pessoas que vivenciaram esse processo, tais como desenhistas, desenhista técnico projetista, desenhista técnico mecânico, *designers* de produto e engenheiros de produção e de controle em número de dez escolhidos como representantes de cada uma das empresas selecionadas.

Segundo MARCONI e LAKATOS *apud* SILVA (1990), "quando se deseja colher informações sobre um ou mais aspectos de um grupo grande ou numeroso, verifica-se, muitas vezes, ser praticamente impossível fazer um levantamento do todo. Daí a necessidade de investigar apenas uma parte desta população ou universo" (<http://www.eps.ufsc.br/disserta98/ely/cap4.html>. Acessado em 10 nov. 2004)

4.5 Questionários

A aplicação da técnica está baseada na distribuição dos questionários através da Internet para usuários previamente selecionados de acordo com os seguintes critérios, ou seja, terem vivenciado as mudanças das ferramentas tradicionais de projeto aos sistemas CAD. Pretendeu-se, desta forma, atingir um público alvo disperso geograficamente e assim captar a opinião de usuários que atuam em diferentes ambientes e atividades profissionais, para desta forma, identificar os principais problemas desse processo.

Tem-se a finalidade de determinar o grau de satisfação ou insatisfação do avaliado no processo de adaptação. O questionário foi direcionado para o objetivo terminal deste trabalho, ou seja, identificar os principais problemas no processo de adaptação e necessidades para a execução de trabalhos que envolvam a transição do desenho técnico com instrumentos tradicionais para ferramentas CAD, além das mudanças no ambiente profissional e do contexto industrial.

É importante destacar que os questionários, normalmente têm uma taxa reduzida de devolução, principalmente quando o meio de distribuição é o correio. Para minimizar este aspecto utilizou-se como mídia de distribuição à *internet*, isto é, um modo indireto de aplicação. Desta forma, foi elaborado um questionário sucinto e objetivo, para minimizar problemas de devolução. Disponibilizou-se, também, questões abertas, um espaço para opiniões e sugestões livres, visando obter informações relevantes que possam não estar contidas nas questões fechadas.

Fundamentando-se nas respostas dos questionários, pode-se centrar a análise sobre os pontos mais problemáticos do sistema.

É importante salientar que os questionários investigativos têm uma taxa reduzida de devolução, o que indica a necessidade de elaboração de um pequeno número de questões e de forma sucinta. Portanto, opiniões e sugestões livres devem sempre ser propostos para que o avaliador possa se manifestar em questões não contempladas no corpo do questionário, isto é, deve ser composto de questões fechadas e abertas.

O questionário possibilita atingir um público numeroso e disperso geograficamente. Porém para evitar o desinteresse dos pesquisados, deve ser bem elaborado, com o objetivo de motivar os participantes da pesquisa em respondê-los e até se interessar pelo resultado das pesquisas. Para pesquisas que necessitam de comprovação científica o questionário constitui-se de uma fonte de elevada fidedignidade (LABES,1998).

Segundo RICHARDSON (1999), existem diferentes instrumentos para a coleta de dados para o desenvolvimento de uma pesquisa científica, com o propósito

de obtenção de informações relevantes acerca de grupos sociais ou sobre temas específicos. O mais comum destes instrumentos provavelmente é o questionário.

4.5.1 Elaboração do questionário

Justifica-se a aplicação do questionário neste projeto de pesquisa em função de:

- Permitir obter informações de um número grande de usuários quase que simultaneamente ou num tempo relativamente reduzido;
- Apresentar relativa uniformidade;
- Possibilitar ao pesquisado tempo suficiente para respondê-lo proporcionando respostas mais refletidas que as obtidas em entrevista direta;
- A tabulação dos dados pode ser executada com maior facilidade e rapidez que outros tipos de instrumentos, como por exemplo a entrevista.

O questionário foi elaborado, abordando duas categorias de perguntas:

a) **perguntas fechadas:** São perguntas ou afirmações que apresentam categorias ou alternativas de respostas fixas e preestabelecidas, assim, o entrevistado deve responder a alternativa que mais se ajusta às suas características, idéias ou sentimentos;

b) **perguntas abertas:** Caracterizam-se por perguntas ou afirmações dando possibilidades ao entrevistado de responder com frases ou orações sua opinião sobre o que é perguntado. LABES (1998).

No caso de associação de perguntas abertas e fechadas permitam obter opiniões particulares da visão do avaliador em relação ao sistema que podem não estar contidas quando utiliza-se questionários apenas com perguntas fechadas.

O modelo de questionário que foi aplicado para a coleta de dados nesta pesquisa, está no Apêndice 9.1.

4.6 Entrevistas

Consistem na obtenção de determinadas informações sobre um assunto ou problema.

Segundo MARCONI e LAKATOS (1999, p.94), “é o encontro entre duas pessoas, a fim de que uma delas obtenha informações a respeito de um determinado assunto”. (<http://www.alexomkt.com.br/fisio/42.pdf>. Acessado em 09 out. 2004).

A entrevista pode ser:

Estruturada, onde o entrevistador segue um roteiro previamente estabelecido, não sendo permitido adaptar as perguntas à determinada situação, inverter a ordem ou elaborar outras perguntas no decorrer da mesma;

Não estruturada, o entrevistador tem a liberdade para conduzir o roteiro da entrevista, explorando mais determinado assunto ou conduzindo cada questão em qualquer direção.

As formas de entrevista podem abranger os seguintes aspectos:

Narrativa, onde o entrevistador estimula o entrevistado a conversar abertamente, sendo o ambiente cordial e amigável;

Entrevista centrada ao problema, está baseada em um determinado assunto ou problema que orienta sua execução;

A entrevista profunda, tem como orientação a base teórica da psicanálise;

Na entrevista receptiva, o entrevistado troca de papel com o entrevistador exigindo boa capacidade de comunicação de ambos;

Entrevista focalizada, quando o entrevistador tem, como objetivo, verificar suas hipóteses sobre o comportamento ou perfil do entrevistado.

Como pontos positivos a entrevista contempla um grande número de itens, como a flexibilidade, permitindo a repetição das pergunta; a obtenção de dados não encontrados em fontes documentais, que por vezes podem tornar-se informações precisas e de grande valor na obtenção de dados que possam ser quantificados e

submetidos a tratamento estatístico por abranger segmentos da população? (<http://www.aleixomkt.com.br/fisio/42.pdf>. Acessado em 09 out. 2004).

Dentro das limitações, encontram-se alguns aspectos que merecem ser mencionados:

- Dificuldade de expressão de ambas as partes;
- Possibilidade do entrevistado ser influenciado, criando com isso a retenção de alguns dados importantes;
- Ocupa muito tempo;
- Tamanho da amostra menor que o questionário.

Cada entrevista, dependendo de seu tipo, exige um planejamento, por parte do entrevistador como:

- O objetivo a ser alcançado;
- Conhecimento prévio do entrevistado ou agendamento;
- Condições favoráveis como local, clima amistoso e de confiança;
- Oportunidade da entrevista, hora e local;
- Organização do roteiro;
- Material necessário.

Depois de traçadas as metas da entrevista é preciso ter em mente uma seqüência de roteiro na abordagem do entrevistado:

- Contato inicial (amistoso, objetivo);
- Formulação de perguntas, de acordo com o tipo, deixando o entrevistado à vontade;
- Registro das respostas, anotações simultâneas, gravador;
- Término da entrevista, clima de cordialidade e aprovação por parte do informante.

Ao finalizar a entrevista, deixar claro que as informações obtidas serão usadas de forma fiel e transparente, garantindo assim fonte digna de confiabilidade na execução de forma gráfica dos dados coletados.

O protótipo do modelo de entrevista utilizado neste processo de coleta de dados, está incorporado neste trabalho através do Apêndice 9.2.

4.7 Análise documental

Pesquisa Documental: quando elaborada a partir de materiais que não receberam tratamento analítico. GIL (1991). Toda pesquisa implica no levantamento de dados de variadas fontes e muitas vezes a fonte de informação são os documentos, dos mais variados, que podem ser : documentos oficiais, editoriais, anuários, relatórios, ofícios, panfletos, atlas, dados estatísticos, autobiografia, material cartográfico, etc., onde a comunicação científica vai se fundamentar nesta fonte específica de dados, geralmente as comunicações a utilizam em combinação com outros tipos de pesquisa. (<http://www.ite.com.br/apostilas/Apostila%202%20termo.doc>. Acessado em 19 out. 2004).

É uma técnica de pesquisa que se utiliza para a descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto em sua comunicação.

Com a modernização (escrita, falada, visual) fica claro que não só as pessoas são fontes de dados. Muitos dados podem ser providos do documento e são fortemente capazes de proporcionar ao pesquisador ricas fontes para comprovação e análise, e evitando a perda de tempo e de recursos.

As mais importantes fontes de documentação são: registros estatísticos : atualmente existe disponível uma grande quantidade de dados estatísticos disponíveis ; documentos pessoais e institucionais e comunicação de massa.

Para a utilização desta técnica é importante: a definição das categorias de forma clara, para que o pesquisador tenha direção do que está buscando: Poderá abranger dois aspectos :

- Quantitativo : quando correlaciona os dados numéricos do documento com o fenômeno em estudo.
- Qualitativo : quando a busca é pela compreensão do significado do fato , no tempo , espaço e circunstância do registro do documento.

Sua apresentação no corpo do trabalho e para ser referenciado na bibliografia segue as normas da ABNT, ou seja, são considerados como citação (<http://www.ite.com.br/apostilas/Apostila%202%20termo.doc>. Acessado em 19 out. 2004)

5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

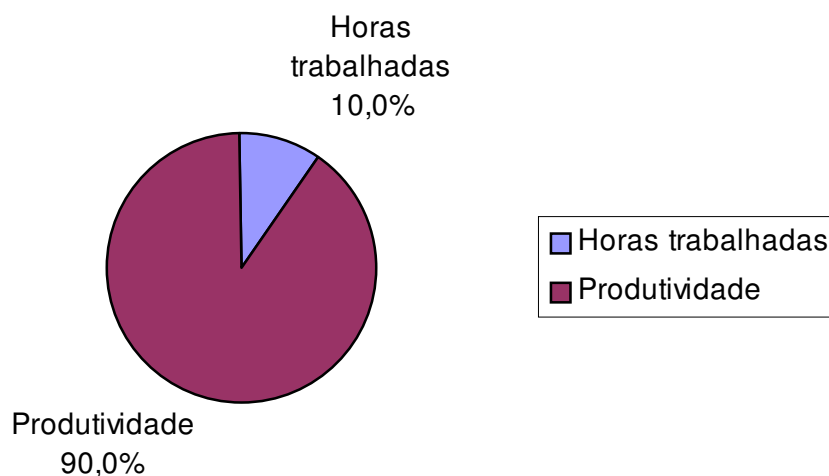
5.1. Entrevistas

Análise das respostas as questões formuladas na entrevista representados por gráficos.

Ao serem entrevistados sobre o aspecto da implantação do CAD em sua empresas os funcionários selecionados responderam as questões mostradas graficamente a seguir.

1) Em qual aspecto, a implantação do CAD em sua empresa, gerou mais pontos positivos do que negativos?

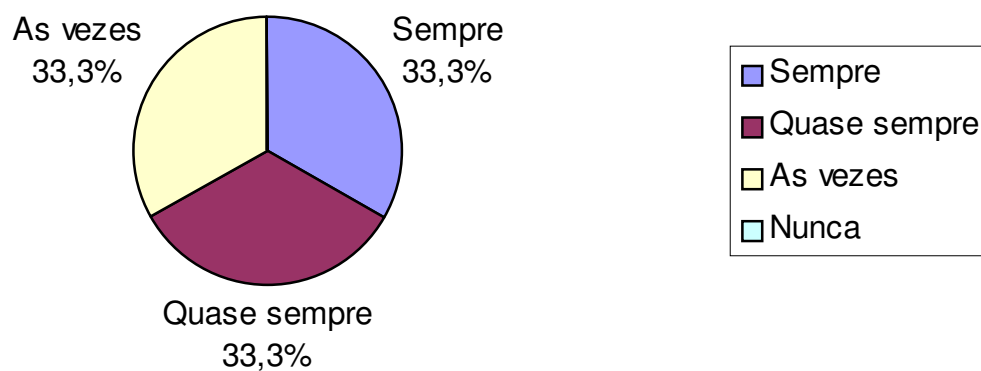
Gráfico referente à questão 01



Ao serem questionados sobre o aspecto da implantação do CAD em sua empresa (positivo ou negativo) 90% dos pesquisados colocou que os pontos positivos foram mais percebidos na produtividade enquanto que apenas 10% optou por horas trabalhadas como sendo o aspecto que mais gerou pontos positivos nessa mudança.

2) A mudança ocorrida no ambiente de trabalho possibilitou que os projetistas trocassem mais informações e conhecimento sobre esta nova ferramenta (CAD)?

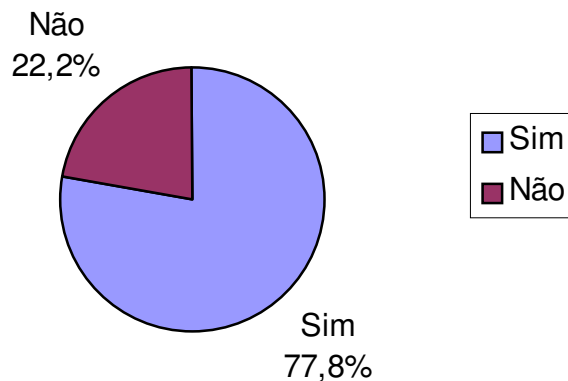
Gráfico referente à questão 02



Ao serem questionados no que diz respeito a mudança do ambiente de trabalho referente a troca de informações sobre as ferramentas CAD houve uma certa paridade percentual

3) Na sua opinião para a empresa houve um impacto econômico (custo do sistema, com *software e hardware*) grande no processo de mudança do desenho tradicional (prancheta) x CAD?

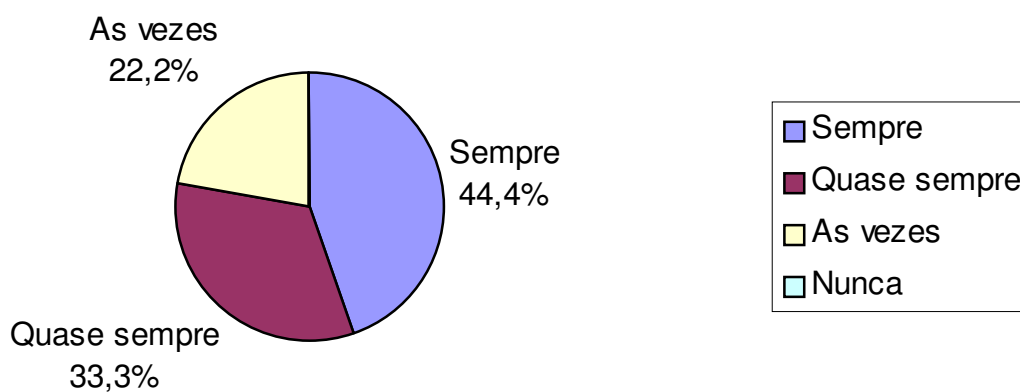
Gráfico referente à questão 03



Ao serem questionados referente ao custo exigido pela troca de sistemas prancheta x CAD obteve-se um índice percentual houve quase 80% que responderam que a empresa precisou fazer investimento alto em *software e hardware*

4) No treinamento dos projetistas realizado na empresa ou fora dela ocorreu algum choque gerado na troca do desenho feito inicialmente de forma tradicional em papel para a forma digital?

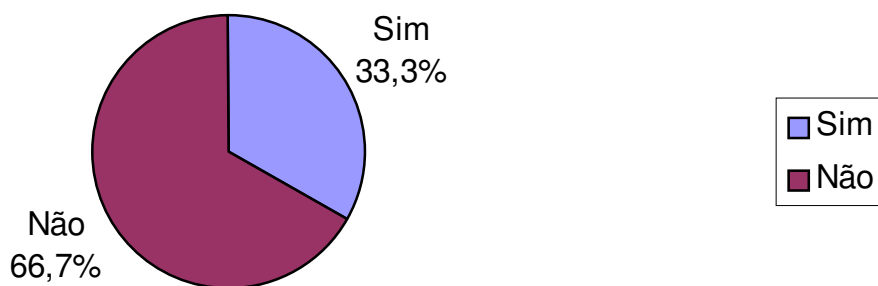
Gráfico referente à questão 04



No que tange ao treinamento de atualização exigido, realizado na empresa ou fora dela, 40% dos entrevistados acreditam que ocorreu um impacto significativo gerado pela mudança no processo de projeto na troca da prancheta pelo CAD.

5) Ergonomicamente os usuários do modo tradicional (papel e prancheta) não apresentaram maiores dificuldades em trabalhar com a tela gráfica do computador como substituto da prancheta?

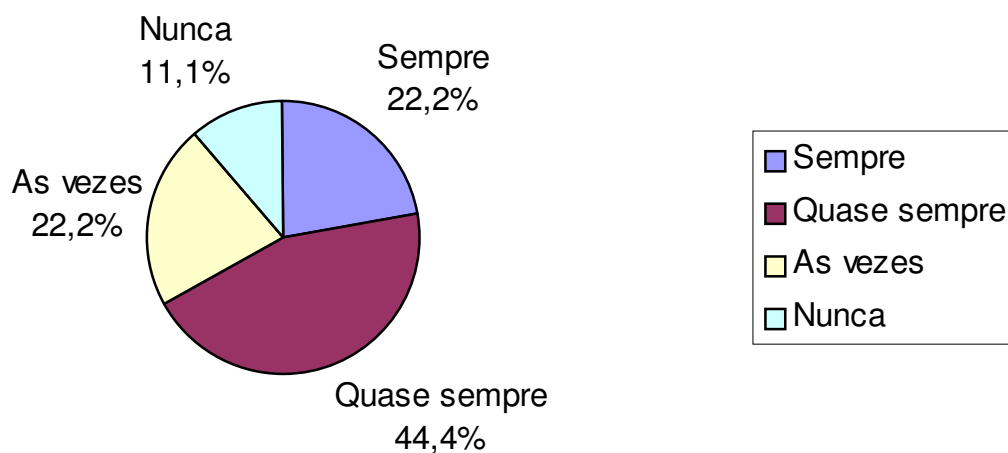
Gráfico referente à questão 05



No que diz respeito a ergonomia quase 70% dos usuários do modo tradicional (papel e prancheta) não sentiram maiores dificuldades em trabalhar com a tela gráfica substituindo a prancheta.

6) Nos desenhos realizados com ferramentas tradicionais (prancheta, nanquim etc.) os erros são mais facilmente identificados e corrigidos do que os executados no CAD(modelo 3D, vistas, cortes, detalhamento, cotação, conjunto e detalhes, vistas explodidas, montagens, precisão, nível de acabamento etc..)?

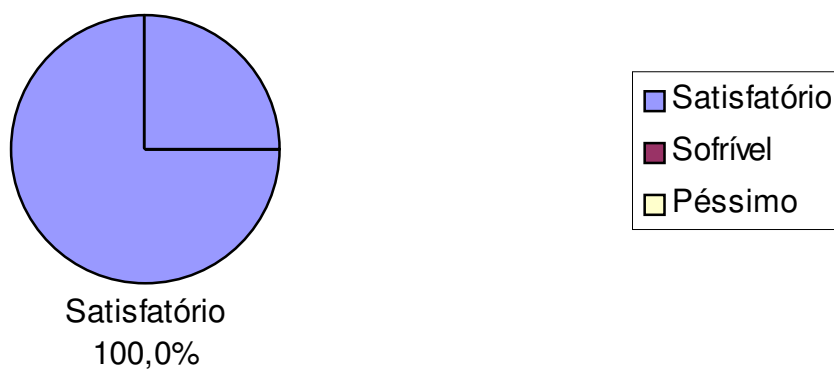
Gráfico referente à questão 06



No que se refere a identificação dos erros 45% dos entrevistados acham que ficou mais fácil com utilização das ferramentas CAD.

7) Seu grau de satisfação é maior utilizando as ferramentas CAD?

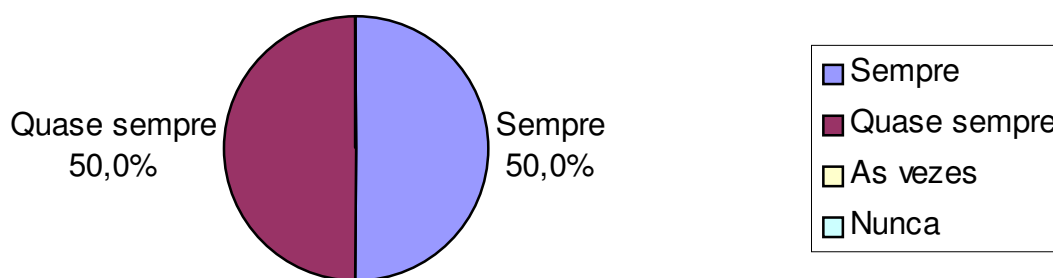
Gráfico referente à questão 07



Quanto ao grau de satisfação provocado nos usuários com a utilização do CAD, a resposta foi satisfatória.

8) Na sua opinião as ferramentas CAD 3D (Modelagem Sólida) satisfazem plenamente projetos executados por sua empresa?

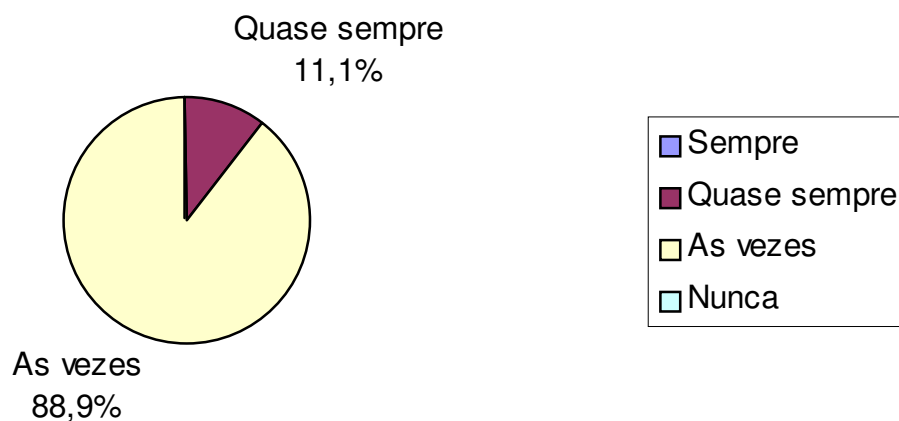
Gráfico referente à questão 08



Quanto ao grau de satisfação com o uso das ferramentas CAD 3D em suas respectivas empresas a opinião ficou dividida, porém, é favorável ao uso.

9) Na sua opinião houve dificuldades de operacionalização do novo sistema (CAD)?

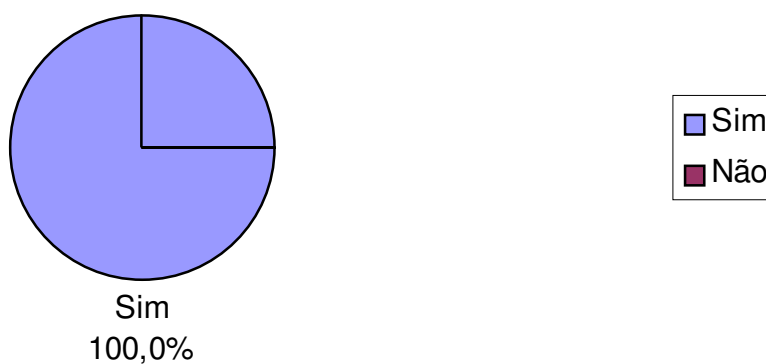
Gráfico referente à questão 09



No que diz respeito às dificuldades de operacionalização durante a implantação do sistema CAD na empresa verificamos que quase 90% respondeu que alguma vez estas dificuldades ocorreram.

10) No seu entendimento houve melhoria quanto ao impacto na produtividade comparando-se com o processo tradicional (prancheta) e o CAD?

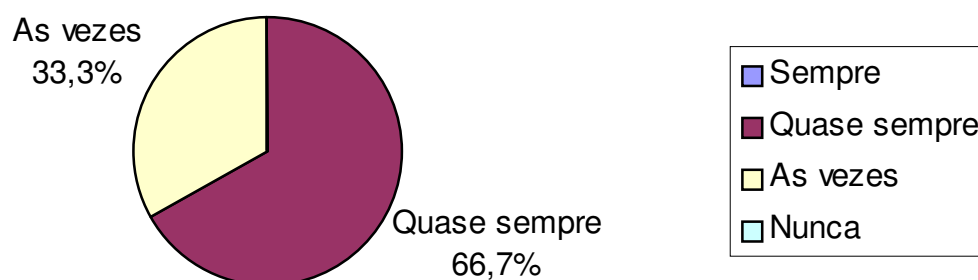
Gráfico referente à questão 10



Neste aspecto da produtividade em sistemas CAD todos responderam que houve uma acentuada melhoria quanto ao impacto na produtividade quanto da comparação do processo tradicional e o projeto no CAD.

11) Sabe-se que essa nova tecnologia necessita de constante aprimoramento e investimento (seja a nível de pessoal como tecnológico). Periodicamente sua empresa gerencia esses investimentos (cursos, treinamentos, *software*, *hardware*)?

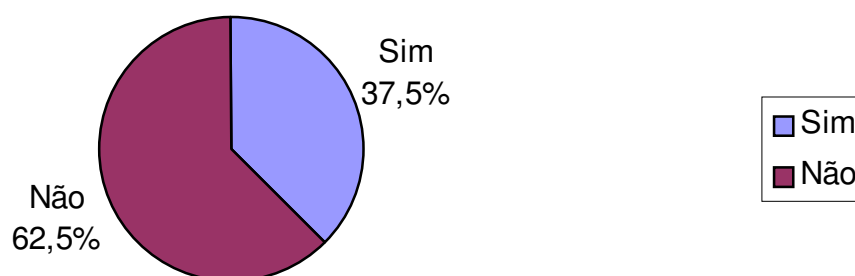
Gráfico referente à questão 11



No que se refere ao constante aprimoramento exigido quanto a atualização nestas áreas para os usuários , aproximadamente 70% respondeu que suas respectivas empresas investem em cursos, treinamento e aquisição de software e hardware para mantê-los atualizados.

12) Na sua opinião com a mudança do desenho tradicional (prancheta) para o CAD (computador) houve maior ligação entre os departamentos de projeto e produção?

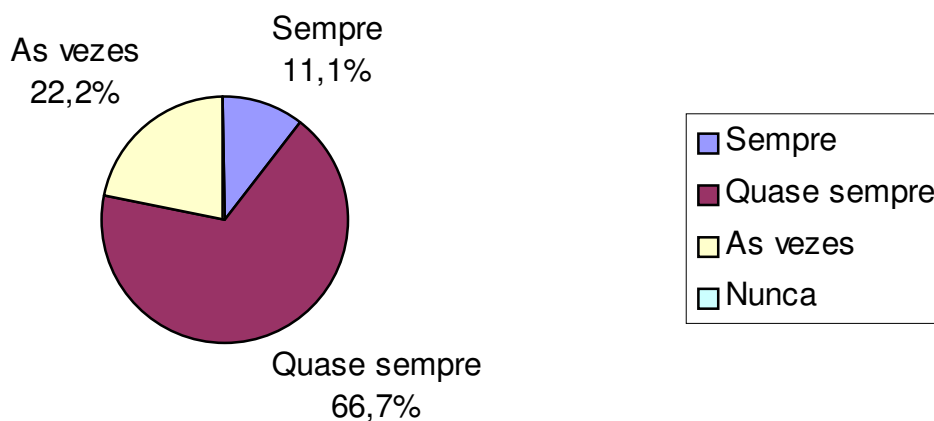
Gráfico referente à questão 12



Em relação as mudanças ocorridas entre os departamentos de projeto e produção no que diz respeito a ligação entre os mesmos mais de 60% responderam que não houve melhoria neste quesito.

13) Pela sua experiência as novas ferramentas computacionais estão sendo utilizadas em sua capacidade plena em sua empresa?

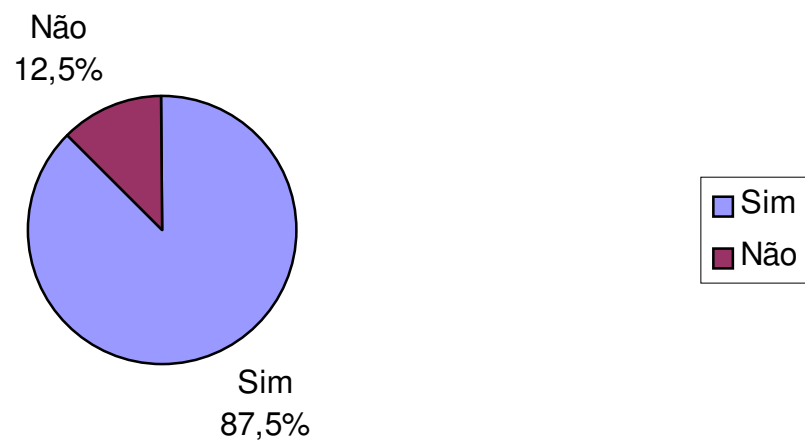
Gráfico referente à questão13



Na questão referente a experiência do usuário relacionado as novas ferramentas computacionais quanto a capacidade de utilização por suas empresas aproximadamente 70% responderam que na maioria das vezes este processo ocorre.

14) Na sua opinião a evolução das tecnologias CAD/CAM, melhoraram a integração entre as áreas de projeto, análise (simulações) e fabricação?

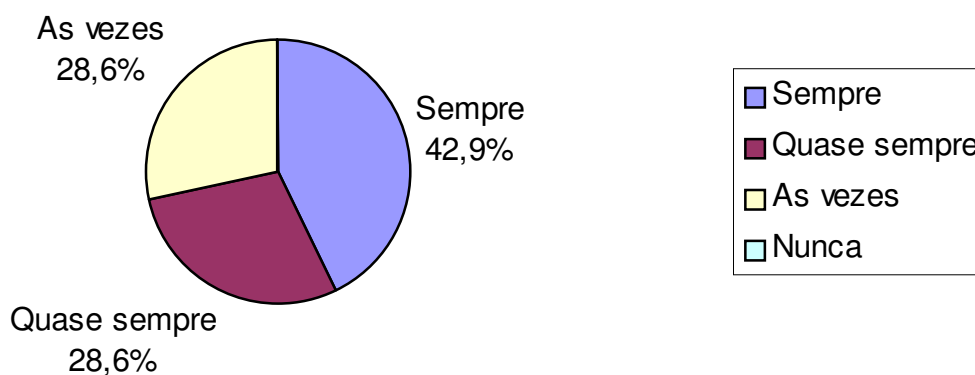
Gráfico referente à questão 14



Verificamos que no que diz respeito a evolução das tecnologias CAD/CAM, houve melhora na integração entre as áreas de projeto, simulações e fabricação tendo em vista que quase 90% dos entrevistados respondeu que sim.

15) No seu ponto de vista projetos de engenharia, são mais fáceis, baratos e seguros utilizando-se modelos computacionais ao invés de avaliar diretamente um protótipo real?

Gráfico referente à questão15



Quase 43% de respostas para a opção sempre e 28,5% na opção quase sempre dos entrevistados respondeu que na sua opinião projetos de engenharia indicam que utilizando modelos computacionais ficaram mais fácil de avaliar do que com o uso de protótipos reais.

Ver gráficos de respostas referentes a todas as opções a perguntas da entrevista no apêndice 9.4.

5.2 Questionários

Análise do perfil e das respostas obtidas através da aplicação do questionário de coleta de dados.

5.2.1 Caracterização da empresa

1.1 Nome da Empresa/Instituição

A, B, C, D, E, F, G, H,I,J

Os questionários foram respondidos por funcionários das empresas indicadas acima.

1. 2 – Produtos e/ou Atividade

| Produto/atividade Principal | Outros Produtos/atividades |
|---|---|
| Desenvolvimento de Produtos | Metrologia e qualidade |
| Telefones e centrais | Bina e sem fio |
| Compressores Herméticos | |
| Projeto, execução e manutenção de infra-estrutura para telecomunicações | Projeto e execução de sistemas de ventilação e controle de temperatura/umidade para agroindústria |
| Máquinas e equipamentos para a indústria cerâmica de pisos e azulejos | Matrizes para prensagem de pisos, azulejos e telhas |
| Máquinas e equipamentos para a britagem de minérios | |
| Água e Saneamento | |
| Distribuição de Energia Elétrica | |
| Educação | Pesquisa e Extensão |

Estas empresas trabalham nos mais diversos ramos de atividades como mostra quadro acima.

2. Principais Clientes

Diebold Procomp, Siemens, Nokia, Bematech, Intelbrás, Governo do Estado de SC

Todo o Brasil

Vinte e cinco por cento da produção mundial, mais ou menos 60 países

BRT, TIM, CLARO, VIVO, SADIA, PERDIGÃO, ETC...

Cerâmicas Cecrisa, Portobello, Incepa, Eliane, etc...

População do Estado de Santa Catarina

Indústria, Comércio, Residências de Santa Catarina

Sociedade em geral, industria e governo

Possuem como visto anteriormente clientes no Brasil e em diversos países.

5.2.2 Caracterização do Informante

3. Nome

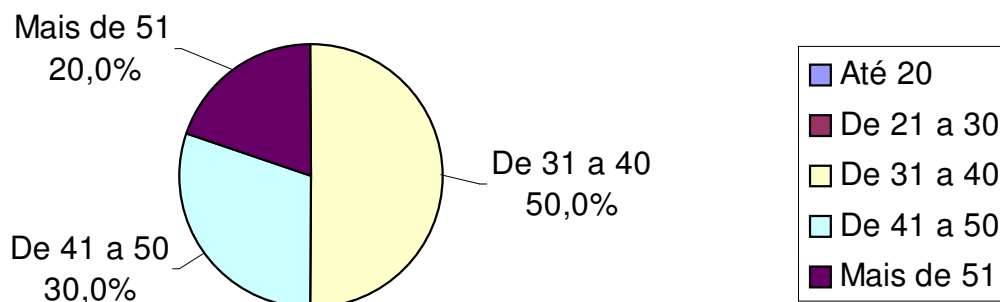
| |
|-----------------------------|
| 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9,10 |
|-----------------------------|

Os profissionais que responderam este questionário aparecem listados acima e possuem as mais diferentes formações desde técnicos até engenheiros com diferentes níveis de pós-graduação.

4. Idade (anos) coloque um X no campo correspondente.

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------|--------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|-----------|--------------------------|------------|
| <input type="checkbox"/> | Até 20 | <input type="checkbox"/> | De 21 – 30 | <input checked="" type="checkbox"/> | De 31 – 40 | <input checked="" type="checkbox"/> | De 41 –50 | <input type="checkbox"/> | Mais de 51 |
|--------------------------|--------|--------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|-----------|--------------------------|------------|

Gráfico referente à questão 04

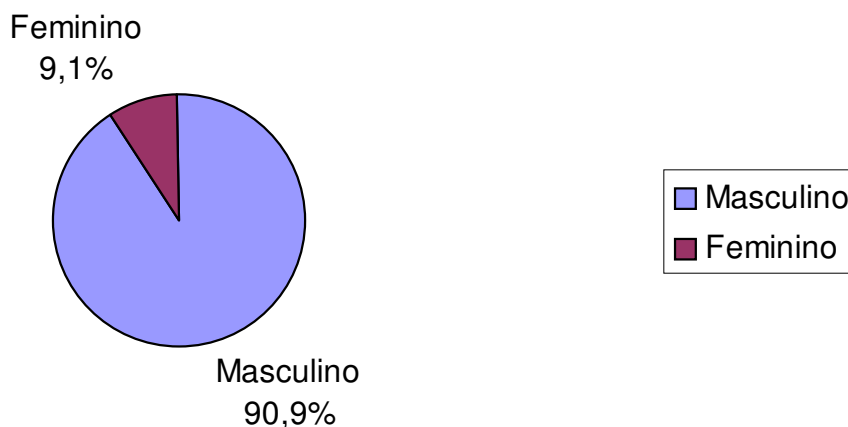


Assim 80% dos entrevistados tem idade entre 31 e 50 anos.

5. Sexo

| | | | |
|--|--------------|---|----------|
| | 10 Masculino | 1 | Feminino |
|--|--------------|---|----------|

Gráfico referente à questão 05



Verificamos que 90% das pessoas que trabalham na área de desenho e projeto das empresas analisadas são do sexo masculino.

6. Grau de instrução. Se a opção, for uma das relacionadas abaixo, favor especificar:

| | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---|---------|---|------------|---|---------|---|-------------|---|--------------|
| | 1° Grau | 1 | 2° Grau | 3 | C. Técnico | 3 | 3° Grau | 1 | Esp./Aperf. | 1 | Pós-Graduado |
|--|---------|---|---------|---|------------|---|---------|---|-------------|---|--------------|

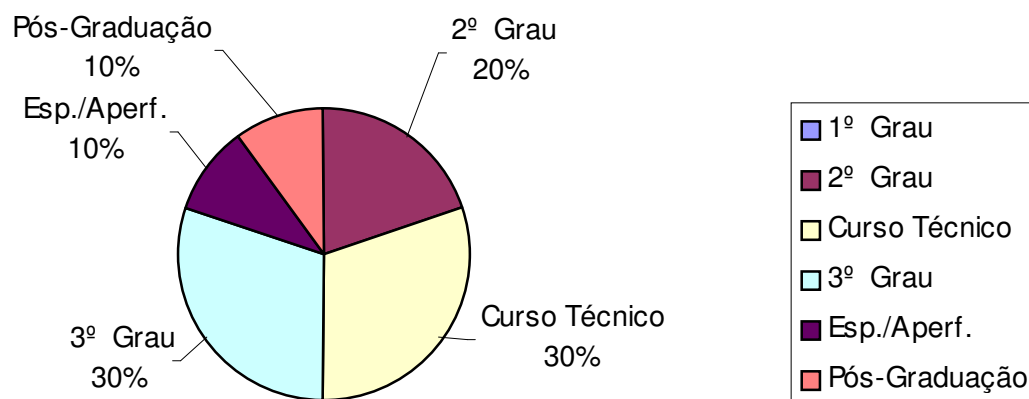
Curso Técnico: Eletromecânica, Eng. Ind. Elétrica, Técnico Mecânico, Técnico Mecânico, Técnico Mecânico, Edificações e Agrimensura, Edificações e Agrimensura, Instalações Hidráulicas

Esp./Aperf.: Projetos, Projetos de sub-estações

Graduação: Eng. Mecânica, Adm. De Empresas (incompleto), Eng. Elétrica, Administração

Pós-graduado: ___ Mestrado ___ Doutorado

Gráfico referente à questão 06



Quanto ao grau de instrução constatou-se que 30% tem formação técnica e 30% curso superior

7. Tipo de ocupação, favor especificar.

Engenheiro de Desenvolvimento, Projetista Mecânico Senior, Projetista de produtos, projetista ferramenteiro, projetista civil, Projetista Senior II, Gerente de Projetos, Projetista mecânico na área de transporte e movimentação de pisos e azulejos, suporte aos micros da empresa, principalmente em CAD, Desenhista projetista, Desenhista, Projetos E.T.As, E.T.E.S, entre outros, Desenhista de estação de tratamento de água e esgoto etc., Projeto técnico de subestação até 138 KV, Docente

Pelo fato das empresas possuírem um leque de atuação os entrevistados possuem as mais diversas qualificações sendo que a maioria são: Projetistas mecânicos em diversas áreas, desenhistas de estação de tratamento de água e esgoto, projetista de produtos, projetista ferramenteiro, engenheiro de desenvolvimento etc..

8. Há quanto tempo o Sr(a) trabalha com desenhos ou projetos (em anos e meses)

| | | | |
|-----------|------|---------|-------|
| 17,28,13, | anos | -,6,-,- | meses |
| 17,30,27, | | ,10,-,- | |
| 16,17,28 | | ,11,-,- | |

Verificamos que o tempo de trabalho em desenhos e projetos no modo tradicional e em CAD variou de 13 a 30 anos entre os funcionários questionados.

9. Há quanto tempo o Sr(a) é usuário de CAD (em anos e meses)

| | | | |
|-----------------------------------|------|-------------------------------|-------|
| 12,11,9,1 0,12,7,5, 8,15,10 | anos | -,6,-, - ,-, -,5,- ,-,- | meses |
|-----------------------------------|------|-------------------------------|-------|

Com relação ao uso somente das ferramentas CAD o tempo de utilização variou de 5 à 15 anos.

5.2.3 Caracterização da área de projetos

10. Número de pessoas envolvidas na área de projeto nos últimos 10 anos

| | | | |
|------------------------|------|---------------------|------|
| 3,6,36,10 ,13,20,13 | 1994 | 5,3,8,50, 9,10,3 | 2004 |
|------------------------|------|---------------------|------|

Quanto ao número de pessoas envolvidas na área de projeto na última década houve variação na grande maioria para menos

11. Investimento em equipamentos de informática Hardware para a área de projeto

| | | | |
|---|------|---|------|
| U\$ 6000,10000,10000,1 000,50000,50000,80 00 | 1994 | U\$ 4000,5000,12000 ,10000, - ,25000,4000, | 2004 |
|---|------|---|------|

Os investimentos em equipamentos (hardware) para a área de projeto entre 1994 e 2004 foram de U\$ 4.000 até U\$ 50.000

12. Investimento em Software de informática para a área de projeto

| | | | |
|--|------|--|------|
| U\$ 3000,8000,300,45000 ,30000,12000 | 1994 | U\$ 4000,2000,18000 , -,20000,5600 | 2004 |
|--|------|--|------|

Investimento em software na área de informática especificamente em computação gráfica variou entre U\$ 300 até U\$ 45.000

13. Investimento em treinamento de pessoal

| | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------|
| 0,40,100,40, 400,200 | Número de horas | 0,U\$1000,1000,1000, 5000,1000 | Custo |
|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------|

Referente ao número de horas em treinamento de pessoal para uso de ferramentas CAD houve variação de 4 a 400 horas a um custo entre U\$ 1.000 e U\$ 5.000

14. Para um mesmo projeto, qual a quantificação em horas (Alteração do tempo de projeto)

| | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|-------------|------------------------|------------------------------------|-------------|
| 100,120,10, 100,160,360 | Utilizando tradicionais | ferramentas | 40,70,2,60,100, 200 | Utilizando computacionais (CAD) | ferramentas |
|----------------------------|----------------------------|-------------|------------------------|------------------------------------|-------------|

Para um mesmo projeto utilizando ferramentas tradicionais e CAD no que diz respeito ao número de horas houve um decréscimo em média de aproximadamente 50%.

15. Número de empregados treinados

| |
|----------------|
| 5,5,50,10,10,3 |
|----------------|

Quanto ao número de empregados treinados ocorreu uma variação entre 5 e 50 nas diversas empresas

16. Formação do pessoal da área de projeto (em número de pessoas) antes e depois da incorporação de ferramentas CAD

| 1994 | | 2004 | |
|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| Formação | Quant. | Formação | Quant. |
| Pós-Graduado | 0,0,2,0,0,13 | Pós-Graduado | 0,1,3,0,0,3 |
| Superior | 3,0,1,5,10,7 | Superior | 4,1,4,2,6,2 |
| Médio (Inclusive Técnico) | 1,3,7,7,10,6 | Médio (Inclusive Técnico) | 1,3,43,7,4,1 |
| Básico (inclusive Senai) | 0,1,0,0,0,0 | Básico (inclusive Senai) | 0,1,0,0,0,0 |

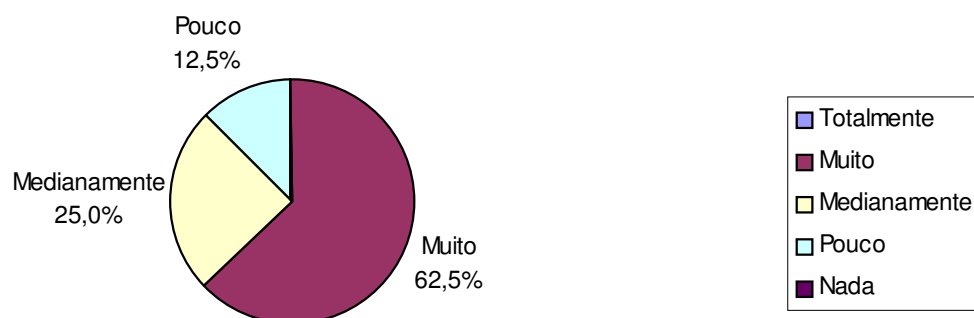
No que se refere a formação do pessoal da área de projeto antes e depois da incorporação das ferramentas CAD verificamos que existem funcionários com formação superior, pós-graduação e principalmente técnicos de nível médio.

5.2.4 Processo de mudança

17. Mudanças de paradigma na concepção dos projetos alterou o perfil do pessoal da área em questão.

| | | | | | | | | | |
|--|------------|---|-------|---|--------------|---|-------|--|------|
| | Totalmente | 5 | Muito | 2 | Medianamente | 1 | Pouco | | Nada |
|--|------------|---|-------|---|--------------|---|-------|--|------|

Gráfico referente à questão 17

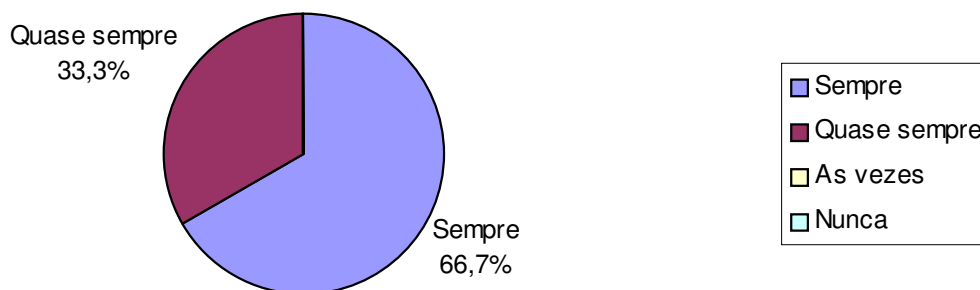


Referente ao fato da mudança de paradigma na concepção dos projetos 62% respondeu que ocorreu alteração no perfil dos funcionários desta área, pela busca de aperfeiçoamento, participação em cursos.

18. Os *softwares* de modelagem sólida na sua opinião permitem reduzir o ciclo de desenvolvimento dos produtos, desde a sua concepção (esboço) até sua execução? Relacione-as:

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|
| Sempre | 2 | Quase Sempre | 1 | As vezes | | Nunca | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|

Gráfico referente à questão 18



Quase que a totalidade dos questionados respondeu que sempre ou quase sempre os softwres de modelagem sólida reduzem o ciclo de desenvolvimento dos produtos desde a sua concepção até a sua execução.

19. Qual o tipo de software (Quais são ou foram utilizados) na empresa e porque a mudança?

Autocad, Solidworks, AutoCAD, Cimatron, SolidWorks, Euclid,Pro/E,Designer, AutoCAD,AutoCAD, Mechanical Desktop, AutoCAD Map, MicroCADAM, AutoCAD, AutoCAD, Rhinoceros , 3dMáx

20. Com a implantação eminente do sistema CAD, por parte da empresa, que expectativa gerou no desenhista convencional?

Ganho de produtividade e redução de erros de projeto, Atualizar-se constantemente, Que não se adaptaria ao novo sistema ou perderia o emprego, Ansiedade e medo de não ser capaz ou perder o emprego, insegurança e certa rejeição, medo, agilizar os trabalhos de desenvolvimento em desenhos

21. Será que a resistência inicial dos desenhistas convencionais, era o medo do novo ou ser substituído pela máquina?

Não creio, Acho que sim, Sim, Sem dúvida os dois, Sim, Não, mais a demora em aprender e ser substituído por alguém com mais experiência.

22. Com a implantação já completada nos dias de hoje e todas as barreiras solucionadas, o profissional que passou por todas as etapas, ao realizar um projeto ou desenho, ainda se utiliza de um croqui ou esboço à mão-livre ou o faz direto no CAD?

Esboços são muito necessários no processo criativo, o CAD não substitui o papel para gerar e organizar idéias, As vezes sim, Depende, Quando o projeto é totalmente novo sempre há a necessidade de um esboço `mão-livre. Quando se trata de adaptar algo existente, faz-se direto no CAD., Normalmente direto no CAD, Ainda se utiliza um croqui em alguns casos, Sempre

23. Os contínuos ajustes e modificações dentro de um projeto complexo, são bem implementados dentro do programa, ou seriam mais fácil partir do zero?

Sem problemas, Com certeza dentro do programa, Depende da mudança, Não é necessário partir do zero, Os ajustes e modificações ocorrem normalmente sem necessidade de começar tudo de novo, Em geral são facilmente implementados, São bem implementados dentro do programa, Com certeza utilizando os parâmetros existentes

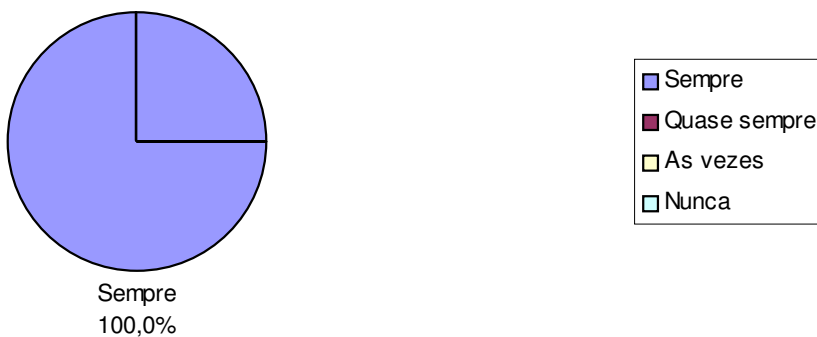
24. Quais vantagens da utilização de computadores no processo de projeto, em relação ao processo convencional, pode-se citar: (em ordem crescente de importância)

| | |
|-----------|---|
| 7,2,5,3,1 | Aumento da produtividade de projeto |
| 4,1,4,1,2 | Aumento da produtividade e qualidade na confecção de desenhos |
| 6,5,1,2,3 | Melhoria da qualidade do produto final |
| 1,3,7,4,4 | Minimização do custo final do produto |
| 5,4,2,6,5 | Melhoria na organização da documentação do projeto |
| 2,6,3,7,7 | Minimização do número de revisões no projeto |
| 3,7,6,5,6 | Otimização do gerenciamento |

25. Na sua opinião os desenhos e projetos são gerados mais rapidamente a partir dos modelos sólidos?

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | 6 | Quase Sempre | | As vezes | | Nunca | |
|--------|---|--------------|--|----------|--|-------|--|

Gráfico referente à questão 25

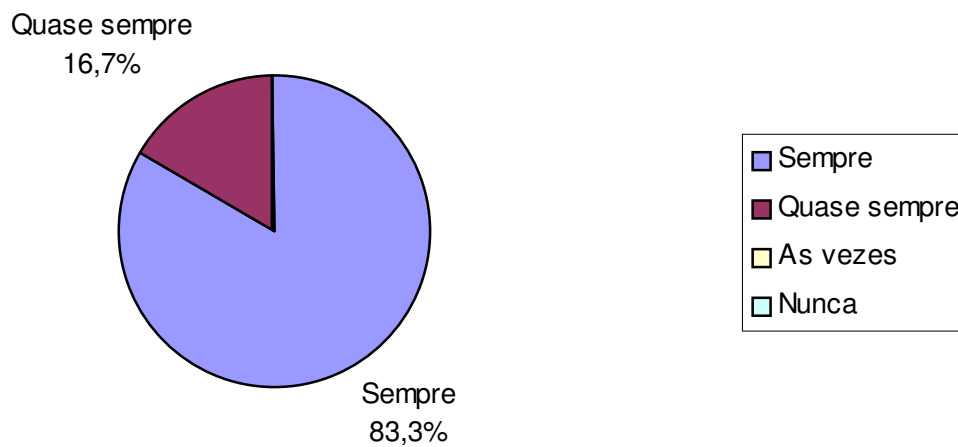


A resposta foi unânime quanto a rapidez da geração a rapidez da geração dos desenhos e projetos à partir dos modelos sólidos.

26. Com sua experiência em desenhos e projetos pode-se afirmar que o modelamento sólido permite a redução dos erros deste?

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|
| Sempre | 5 | Quase Sempre | 1 | As vezes | | Nunca | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|

Gráfico referente à questão 26

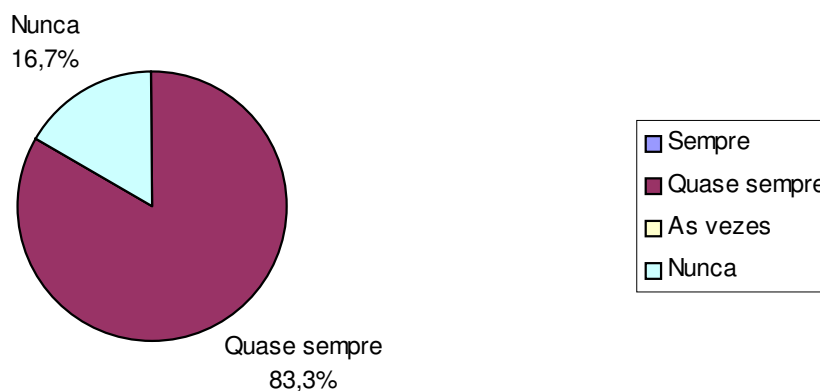


No que se refere a redução de erros, 83,3% respondeu sempre e 16,7% quase sempre tendo em vista que os softwares de CAD (MS) permitem a análise e indicação de erros construtivos e estruturais e se há conflitos entre os mesmos.

27. Na sua opinião o projeto em 3D reduz ou elimina os protótipos físicos?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|---|----------|--|-------|---|
| Sempre | | Quase Sempre | 5 | As vezes | | Nunca | 1 |
|--------|--|--------------|---|----------|--|-------|---|

Gráfico referente à questão 27

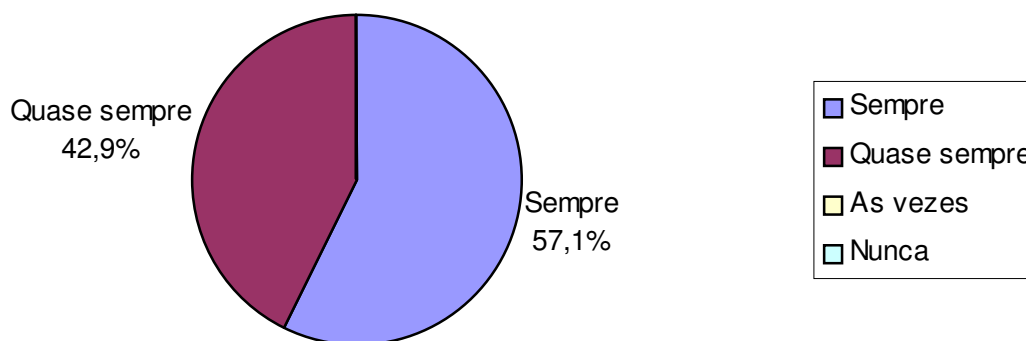


Em relação a redução ou eliminação dos protótipos físicos em 3D, 83% respondeu que quase sempre isto ocorre.

28. Com a implantação dos sistemas CAD é certo afirmar que os mesmos aceleraram o processo de desenvolvimento dos produtos criados em sua empresa?

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|
| Sempre | 4 | Quase Sempre | 3 | As vezes | | Nunca | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|

Gráfico referente à questão 28

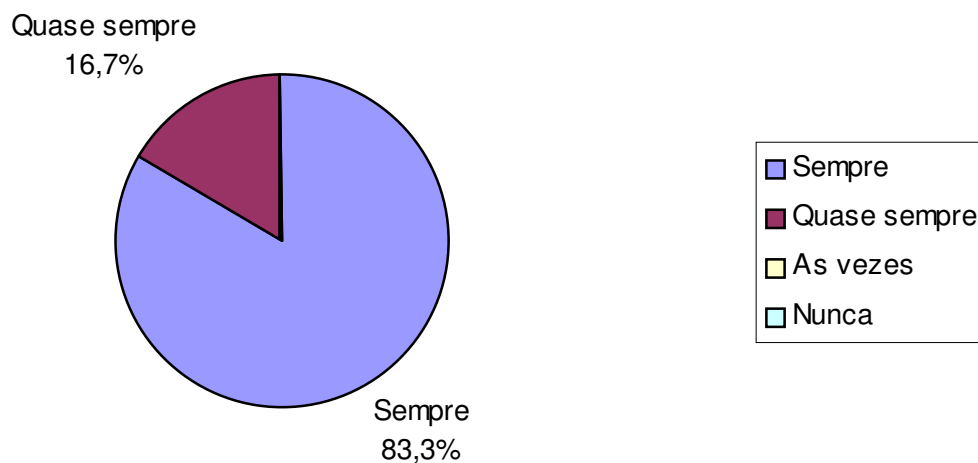


Quase 100% dos desenhistas e projetistas questionados responderam que quanto a implantação dos sistemas CAD aceleraram o processo de desenvolvimento dos produtos criados em suas respectivas empresas.

29. Na sua opinião com os modelos sólidos ficou facilitada a alteração de seus projetos com economia de tempo e aumento da qualidade do projeto final?

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|
| Sempre | 5 | Quase Sempre | 1 | As vezes | | Nunca | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|

Gráfico referente à questão 29

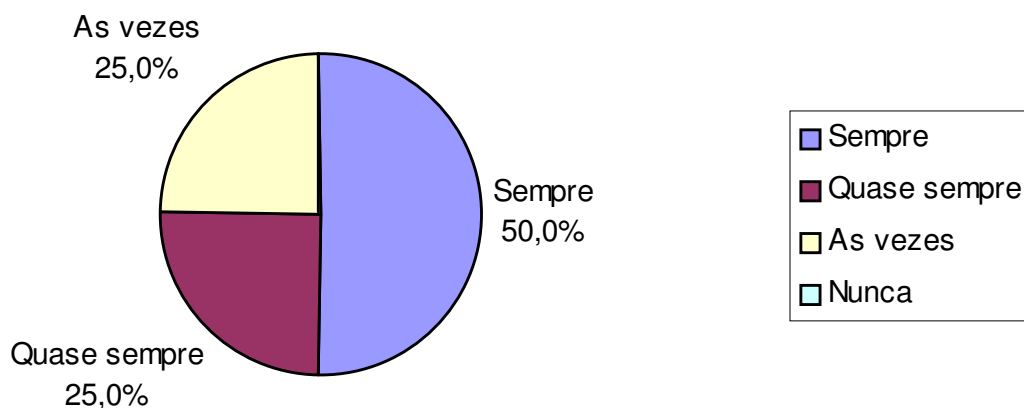


No que se refere a opinião dos usuários, se os modelos sólidos facilitariam a alteração dos seus projetos com relação à economia do tempo e aumento da qualidade do projeto final 83,3% responderam a opção sempre e 16,7% quase sempre.

30. Com a implantação do sistema CAD no seu ambiente de trabalho e todos os benefícios gerados a partir dessa implantação (redução do tempo em sintetizar, analisar e documentar o projeto, e o aumento da produtividade) pode-se afirmar que o lado humano está acompanhando essa mudança ou sente-se desconfortável em competir com a máquina?

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|---|----------|---|-------|--|
| Sempre | 4 | Quase Sempre | 2 | As vezes | 2 | Nunca | |
|--------|---|--------------|---|----------|---|-------|--|

Gráfico referente à questão 30

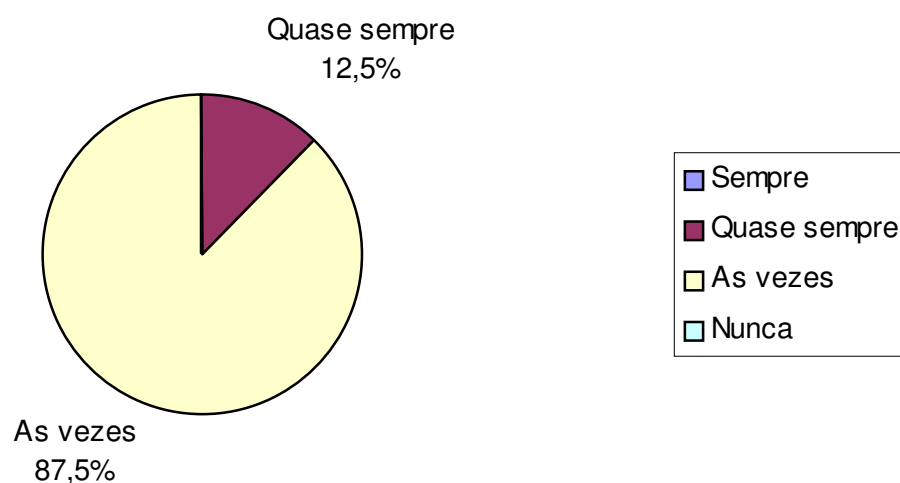


No que diz respeito ao confronto entre a máquina e o ser humano com a implantação do CAD em seus ambientes de trabalho e todos benefícios gerados a partir dessa implantação 50% respondeu sempre e 25% quase sempre relativos a esta mudança.

31. Dentre todos os passos de padronização que o sistema oferece, o que permite uma melhor comunicação entre os usuários dos serviços de engenharia de produto, existe ainda alguma “falha” nessa comunicação?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|---|----------|---|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | 1 | As vezes | 7 | Nunca | |
|--------|--|--------------|---|----------|---|-------|--|

Gráfico referente à questão 31



Quase 90% dos usuários respondeu que quanto aos passos de padronização que o sistema oferece, a comunicação entre os usuários dos serviços de engenharia de produção houve falha nessa comunicação as vezes.

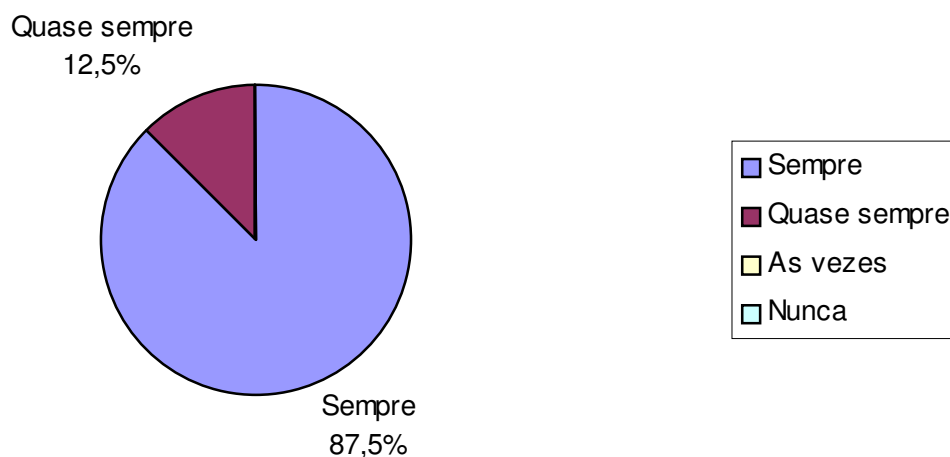
32. O usuário e o computador estabelecem uma conversação do tipo pergunta e resposta, passo a passo, que o auxilia na solução de um grande número de problemas. Existe nessa interação algum tipo de “bloqueio”, que pudesse ser solucionado? Cite-o.

Problemas de ergonomia, LER, Sim um Help do assunto, Aproximar da real necessidade do usuário e do processo produtivo, Não, Necessita sempre de melhoria na interação entre homem e máquina, Não, A forma da linguagem criativa e técnica

33. Na sua opinião o CAD melhora o desempenho dos projetistas e aumenta a produtividade em sua empresa, além de possibilitar a tomada de outras decisões importantes durante o desenvolvimento do projeto?

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|
| Sempre | 7 | Quase Sempre | 1 | As vezes | | Nunca | |
|--------|---|--------------|---|----------|--|-------|--|

Gráfico referente à questão 33

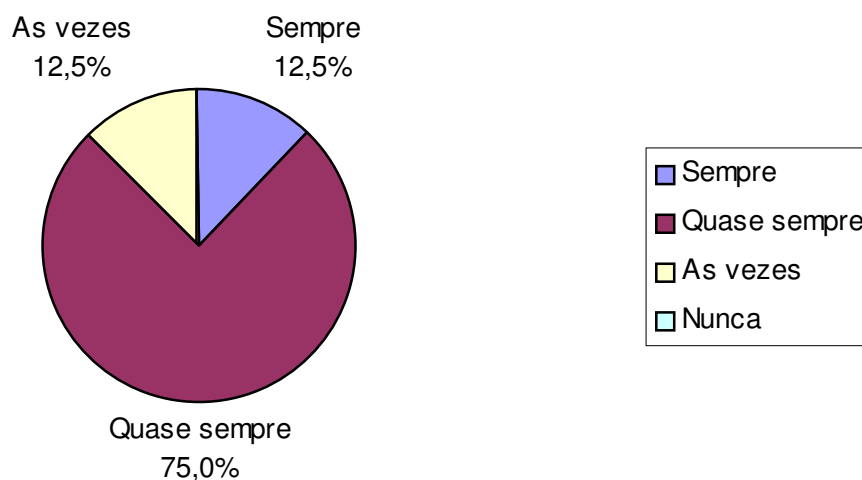


Na opinião das pessoas questionadas o CAD melhora o desempenho dos projetista e aumenta a produtividade em sua empresa, além de permitir uma tomada de outras decisões importantes durante o desenvolvimento do projeto já que 87,5% respondeu sempre e 12,5% quase sempre.

34.Tendo em vista que os *softwares* atuais de CAD em sua grande maioria possuem ferramentas que geram automaticamente vistas ortográficas e cortes a partir de modelos 3D, na sua opinião os desenhos 2D, mesmo os digitais, são realmente necessários ?

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|---|----------|---|-------|--|
| Sempre | 1 | Quase Sempre | 6 | As vezes | 1 | Nunca | |
|--------|---|--------------|---|----------|---|-------|--|

Gráfico referente à questão 34



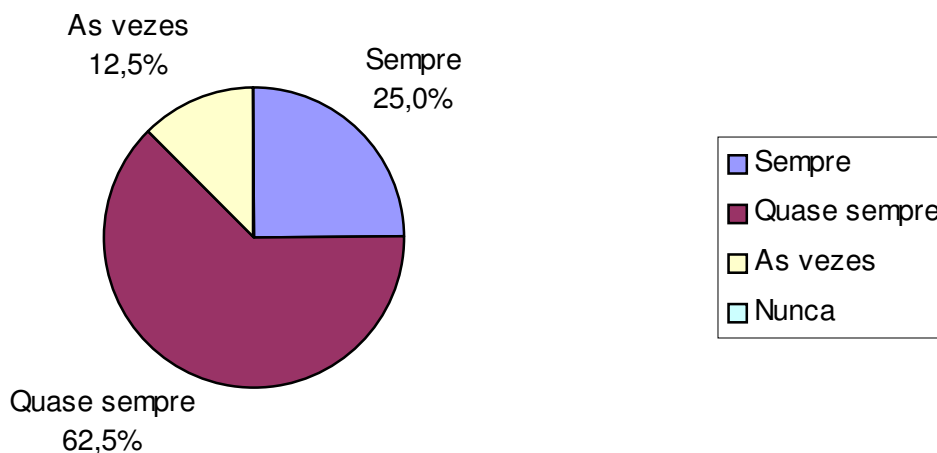
Dos usuários 75% responderam que quase sempre as ferramentas de CAD atuais que geram automaticamente projeções e cortes a partir de modelos 3D dispensam os desenhos 2D.

No entanto 12,5% respondeu as vezes pois referem-se a empresas que trabalham quase que totalmente em 2D.

35. Finalmente o sr(a) pode afirmar que os dados do projeto em 3D são úteis para toda a empresa?

| | | | | | | | |
|--------|---|--------------|---|----------|---|-------|--|
| Sempre | 2 | Quase Sempre | 5 | As vezes | 1 | Nunca | |
|--------|---|--------------|---|----------|---|-------|--|

Gráfico referente à questão 35



Para finalizar 62% responderam que quase sempre os dados do projeto em 3D são úteis para suas respectivas empresas e 13% respondeu as vezes.

Obs.: Relacione outras informações complementares que o Sr.(a) considera relevantes nesta pesquisa.

Considero que o CAD ajuda no desenvolvimento do projeto e na qualidade dos desenhos. Mas, não foi comentado na capacidade dos operadores de CAD (Máquina) que se julgam projetistas sem o conhecimento técnico desejável. Considero a geração que trabalhou com prancheta e migrou para o CAD como ideal, e não quem opera máquina e não tem conhecimento técnico. Que é a grande maioria do mercado, necessitando que digam o que desenhar.

O que deve ser deixado bem claro é que nem todas as perguntas tanto das entrevistas quanto dos questionários foram respondidas pelos funcionários destas empresas pois algumas delas por exemplo trabalham com 2D e não em 3D por isso houve em alguns gráficos, representações com número variável de dados tabulados.

Outro ponto que deve ser considerado é que as questões referentes as entrevistas e questionários que não ficaram muito claro anteriormente estão mostradas utilizando gráficos de barras e tabelas nos apêndices 9.4, 9.5 e 9.6.

6 PRANCHETA VERSUS CAD

6.1 Implantação de sistemas CAD em empresas de engenharia em geral

Atualmente, estão disponibilizadas as ferramentas denominadas CAD, derivado de *Computer Aided Design*, que representa o desenho ou projeto auxiliado por computador, que é uma ferramenta de auxílio ao desenho ou projeto, que tornou as ferramentas tradicionais obsoletas.

Nas duas últimas décadas, o CAD tem sido a ferramenta mais utilizada nas representações gráficas, pois possibilita maior precisão, rapidez e facilidade de comunicação entre os diversos setores produtivos. Inicialmente o CAD foi muito utilizado para representar desenhos em 2D, no entanto com o advento dos *software* com modeladores sólidos paramétricos, os projetistas de engenharia, utilizam cada vez mais as ferramentas no ambiente de projeto 3D. Estas ferramentas facilitam a visualização dos modelos e permitem obter as projeções ortográficas em 2D, o dimensionamento automático e a representação das tolerâncias. Além disto, pode-se obter das peças em 3D, dados característicos como: volume, simulações de esforços, propriedades construtivas. Os modeladores paramétricos, também, permitem a correção de erros no modelo em 3D, de tal forma, que as projeções ortográficas (2D) são atualizadas e corrigidas simultaneamente. Pode-se observar, que a medida que surgem novas ferramentas para execução de desenhos e projetos, verificam-se que existem alguns problemas que são os custos de atualização de *software* e do *hardware*, e a dificuldade para mudar a mentalidade dos usuários, principalmente, para avaliar as vantagens e desvantagens no uso destas ferramentas. Em razão destas observações, pode-se concluir, que em função da rapidez nos processos construtivos onde se encontram integrados (CAD, CAM, CAE), existe pouco espaço para desenhos realizados com auxílio do grafite, nanquim, etc., em papel vegetal ou outro meio físico, onde havendo qualquer problema no projeto, os mesmos tenham que ser refeitos.

A revolução industrial propiciou um grande avanço no desenvolvimento do desenho técnico e aumentou significativamente sua importância, no entanto, pode-se prever que a revolução da informática propiciará a quase extinção deste tipo de desenho, devido a possibilidade de se construir diretamente um produto a partir do seu modelo em 3D, através de um processo computacional que associa o processo de criação e modelagem diretamente ao processo construtivo, em máquina de controle numérico - CNC, portanto, sem a necessidade da existência prévia de um desenho técnico nos moldes tradicionais.

A partir da modelagem em 3D dos objetos chega-se facilmente a criação de ambientes inteiros totalmente virtuais, onde é possível além de verificar a interação dos vários componentes entre si também, a interação do homem com este ambiente.

O futuro deve reservar para os profissionais das áreas de projeto na engenharia possibilidades fantásticas tais como a realidade virtual que poderá vir a ser utilizada como uma ferramenta produtiva nas mais diversas áreas e formas, nos mais variados campos de conhecimento humano (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>; Acessado em 19 abr. 2005).

No ensino a distância, através da linguagem VRML (*Language Modeling Reality Virtual*), os modelos em 3D, disponibilizados via *Internet*, têm sido utilizados como um facilitador no processo de ensino-aprendizagem, especificamente no desenvolvimento da capacidade de visualização, portanto, auxiliando na formação de novos e capacitados profissionais.

A EMBRAER e as montadoras de automóveis no Brasil por exemplo, são algumas usuárias dos recursos de Realidade Virtual, seja utilizada no desenvolvimento de peças e acessórios, ou em testes de partes e do produto final.

Utilizam para tanto computadores com grande capacidade de processamento, alta capacidade gráfica e resolução, bem como dispositivos para criar a ilusão da realidade, como óculos, sensores, luvas e dispositivos de apontamento especiais.

O projetista pode usinar, cortar, perfurar um modelo como se estivesse numa fábrica, com a vantagem de realizar essas operações tantas vezes quantas quiser, sem gasto de material sem sujeira e economizando tempo e dinheiro.

A realidade virtual ainda se encontra num patamar inicial de desenvolvimento. No entanto, suas possibilidades são enormes. Como ferramenta de manufatura (CAE/CAD/CAM), ela possibilita simular a fabricação de uma peça mecânica em 3D.

- A realidade virtual pode trazer aos seus usuários os seguintes benefícios:
- Identificação rápida e fácil de possíveis falhas num projeto;
- Correção imediata com baixo custo;
- Facilidade na apresentação do projeto a outros grupos de especialistas externos e internos à empresa;
- Armazenamento de informações;
- Facilidade de manutenção das partes que compõem produtos mais complexos.

Quanto mais rápidas e precisas forem a manutenção e a reposição de peças danificadas de um produto, menor será o custo do trabalho na engenharia de automação. Periféricos de realidade virtual possibilitam eliminar as máquinas prejudiciais à saúde humana, por serem altamente ruidosas, tóxicas, radioativas, explosivas etc.

Os testes feitos em ambientes virtuais são mais baratos e não colocam em risco a vida dos usuários (<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 19 abr. 2005).

6.2 Utilização de ferramentas computacionais no desenvolvimento de produtos

No atual contexto econômico de alta competitividade, as empresas se vêem obrigadas a, cada vez mais, lançar novos produtos inovadores e atrativos para conquistar os consumidores sempre mais exigentes. Neste mundo globalizado, a velocidade da informação, execução e implementação de um projeto podem ser fundamentais para o sucesso de uma empresa. “A gradual redução do tempo de vida de um produto faz com que as empresas necessitem desenvolver novos produtos num espaço de tempo menor. Esta realidade tem obrigado as empresas a

recorrerem a metodologias e ferramentas de gestão do desenvolvimento de produtos que lhes permitam atingir estes objetivos”. Os sistemas CAD , CAE e CAM, que em português corresponde a Projeto Auxiliado por Computador, Engenharia Auxiliada por computador e Manufatura Auxiliada por Computador, respectivamente, são ferramentas que desempenham um papel fundamental para a viabilização de um projeto de um produto em tempo reduzido, oferecendo oportunidade para simular e reduzir custos na fase de desenvolvimento do produto.

A utilização de sistemas computacionais nas diferentes áreas da engenharia é uma exigência do atual mercado globalizado altamente competitivo, onde as empresas necessitam produzir sempre mais, com melhor qualidade e com custos reduzidos. Além de simplesmente substituir a prancheta pelo computador – automatizando o trabalho do desenhista – os atuais sistemas CAD/CAE/CAM são capazes de aumentar a eficiência de praticamente todas as atividades realizadas por um departamento de engenharia. Um maior número de alternativas de projeto é analisado durante a fase de concepção; os problemas de um novo projeto são corrigidos antes mesmo de um único protótipo ter sido fabricado; os processos de fabricação são facilmente programados e visualizados na tela do monitor; as diferentes etapas do processo de engenharia desenvolvem-se de maneira integrada e simultânea.

No início da utilização de *softwares* de CAD o objetivo principal era aumentar a produtividade na elaboração de desenhos técnicos. Foram alcançados resultados significativos, e o CAD se popularizou na medida em que os microcomputadores foram se tornando mais poderosos e mais acessíveis. Hoje, uma nova geração de sistemas CAD está mudando o conceito da “prancheta eletrônica” e incorporando recursos tecnológicos antes somente encontrados em sistemas *high-end*. Desenhos tridimensionais, recursos de modelamentos sólidos, paramétrico e variacional, alteração pela árvore de gerenciamento da montagem, comandos inteligentes e fáceis de usar estão praticamente ao alcance de todos os usuários de CAD. Com estes recursos é possível aumentar a eficiência do projetista, melhorar a qualidade do projeto, a qualidade do produto, e a qualidade de comunicação além de, criar um banco de dados para manufatura entre outras razões.

A tecnologia CAE permite hoje, a realização de uma grande quantidade de cálculos estruturais voltados para o dimensionamento de estruturas e componentes mecânicos em tempo reduzido. Diversas características do problema real não podiam ser consideradas, poucas alternativas de projeto eram analisadas e a utilização de altos coeficientes de segurança resultava em estruturas superdimensionadas. Com a nova tecnologia o projetista fica liberado do trabalho braçal, concentrando-se na atividade de projetar com mais criatividade. A simulação computacional de um modelo pode permitir a avaliação de um maior número de alternativas de projeto, com custos e prazos menores – reduzindo ou mesmo diminuindo a necessidade de construção de protótipos.

Os atuais sistemas CAM realizam a programação de todos os tipos de usinagem CNC com mais rapidez e precisão, utilizando um modelo gerado em CAD e otimizando a trajetória da ferramenta. O recurso de simulação gráfica da usinagem permite a verificação das operações envolvidas, através de uma animação tridimensional simulando a peça e as ferramentas de corte, eliminando assim a programação de uma máquina-ferramenta CNC executada manualmente, onde a confiabilidade da usinagem somente era alcançada às custas de longos e caros procedimentos de *try-out* e depuração do programa.

O perfil dos usuários de sistemas CAD/CAE/CAM está mudando. Cada vez mais se valoriza a facilidade de uso e de aprendizado dos sistemas. Os comandos devem ser mais intuitivos, auto-explicativos e possuir inteligência associada, que resulta em menor nível de interações do usuário com o mouse e o teclado.

A integração de sistemas CAD, CAE e CAM pode resultar na diminuição do tempo total utilizado desde a concepção do produto até a sua fabricação. A partir de critérios preestabelecidos para a otimização do projeto, uma análise de tensões por elementos finitos pode modificar automaticamente o desenho da peça através de um processo iterativo – como exemplo, um raio de concordância sendo modificado automaticamente, isto, em função das tensões calculadas em suas proximidades. Outro exemplo da integração entre CAE e CAD seria a análise automática de várias alternativas de projeto visando uma solução de máxima resistência mecânica com peso mínimo para determinada peça.

Um sistema CAM como ferramenta auxiliar para projeto de produto é imprescindível para uma organização que trabalha com um sistema de engenharia simultânea, onde o tempo de lançamento de um produto está se tornando mais curto.

Do ponto de vista de engenharia de projetos, o sistema CAD, CAE e CAM otimizam tempo e qualidade, reduzindo os riscos de falha de projeto. Atualmente com sistemas bem mais desenvolvidos, os engenheiros têm possibilidade de realizar todo processo de projeto, análise de tensões e simulação de fabricação antes de confeccionar de fato, a ferramenta.

Além disso, vale mencionar que os recursos de prototipagem rápida estão se tornando mais versáteis e precisos. Hoje é possível obter uma peça funcional horas após a finalização do projeto no computador. Muitas destas tecnologias de prototipagem desenvolvem peças em ABS (resina termoplástica) ou material que se aproxima bastante do material da peça para produção, o que aumenta a confiabilidade dos testes e checagem dos parâmetros dimensionais e funcionais.

Observa-se que as vantagens e as oportunidades oferecidas pelo sistema CAD, CAE e CAM são inúmeras, no entanto, tais sistemas requerem alto investimento em *softwares*, *hardware* (computadores com boa capacidade e velocidade) e pessoal especializado.

Assim sendo, para que o sistema opere satisfatoriamente dentro da engenharia simultânea, é necessário que os três tenham condições de interagir entre si dentro de um sistema global como o ERP (Enterprise Resource Planning), por exemplo. Com isso, as informações sobre o projeto podem ocorrer mais rapidamente para as áreas afins que trabalham conjuntamente.

Isso permite, por exemplo, que seja possível obter uma maior interação entre os diferentes departamentos da empresa, tais como, compras/desenvolvimento de fornecedores, planejamento da produção, planejamento do processo, produção e outros, de modo que possam participar efetivamente do desenvolvimento dos

processos desde o seu início (http://portal.fucapi.br/tec/imagens/revistas/ed002_039_043.pdf. Acessado em 19 abr. 2005).

Quadro 2: Prancheta versus CAD

| PRANCHETA | CAD |
|--|--|
| 1. Custo menor do projeto e desenho feito à mão-livre ou com instrumentos; | 1. Maior custo inicial do projeto e atualização do desenho feito em CAD; |
| 2. Custo menor dos instrumentos e materiais de desenho; | 2. Maior custo inicial e para atualização do hardware e software; |
| 3. Baixa produtividade devido à produção de desenhos estar diretamente ligada à habilidade do desenhista; | 3. Aumento da produtividade do projetista, com a experiência; |
| 4. Maior espaço ocupado para a armazenagem dos desenhos e projetos (armários, mapotecas, etc.); | 4. Menor espaço na Armazenagem, disquetes, CDs etc.; |
| 5. Maior tempo gasto para o envio dos desenhos para outras empresas através dos correios etc.; | 5. Otimização do tempo gasto para o envio dos desenhos e projetos pela <i>internet</i> ; |
| 6. Desenhos e projetos em 2D e 2 1/2D com suas respectivas projeções ortográficas; | 6. Desenho em 3D e posterior obtenção automática de desenho de conjuntos e detalhes; |
| 7. Repetição dos desenhos e projetos nas mais diversas áreas das engenharias (plantas, des. Hidráulicos, des. Elétrico, des. Mecânico em papel vegetal é um trabalho muito grande; | 7. O CAD propicia o trabalho com biblioteca de objetos e simbologias elétrica, hidráulica, civil, mecânica, lay-out etc. Criação de uma base de dados para manufatura; |
| 8. Modelos estáticos 2 1/2D em papel; | 8. Modelos dinâmicos com simulações e movimentos; |
| 9. Protótipos físicos (maquetes); | 9. Protótipos digitais (maquetes eletrônicas); |
| 10. Erros de representação geométrica e erros de cotas que seriam detectados durante a montagem dos equipamentos. | 10. Melhora a qualidade do projeto. |

É importante ter a seguinte visão geral:

Uma nova máquina, estrutura ou sistema deve existir na cabeça do engenheiro ou projetista antes de se tornar realidade. O processo de projeto é difícil e desafiador durante o qual o engenheiro e o projetista usam o desenho como meio para criar, registrar, analisar e comunicar conceitos e idéias.

Os conceitos do projeto são geralmente comunicados através de esboços à mão livre ou desenhos criados por meio de sistemas de projeto assistido por

computador (CAD). Um sistema CAD pode ajudar, mas é preciso ter habilidade para saber quais os desenhos e qual nível de detalhes é necessário em cada estágio do projeto. Mesmo que os sistemas CAD estejam substituindo as ferramentas tradicionais de desenho, para muitas equipes de projeto, a fundamentação teórica e os conceitos básicos da comunicação gráfica permanecem os mesmos.

O computador surgiu na literatura e na ciência como uma máquina misteriosa, sem limitações, capaz de executar seus próprios planos; mas, na realidade, o computador não é nada mais que uma ferramenta de elevado potencial, capaz de armazenar dados, realizar funções lógicas e cálculos matemáticos complexos. As aplicações computacionais expandiram as capacidades humanas a tal ponto que virtualmente todos os tipos de negócio e de indústria incorporam os computadores direta ou indiretamente.

O processo de projeto, tem sofrido o impacto das novas tecnologias na sua operacionalização. O advento do computador e as recentes ferramentas de CAD vem alterando a forma como o processo de projeto é realizado. O computador pode ajudar o projetista em diferentes etapas do processo liberando-o das tarefas repetitivas ou que exigem a recuperação e processamento de informações. Possibilita ainda o trabalho colaborativo onde diferentes projetistas, em diferentes lugares, podem contribuir para um mesmo projeto, isto é o denominado trabalho compartilhado sem limitações geográficas

As soluções podem compreender considerações de componentes existentes em arranjos diferentes para produzir um resultado mais eficiente ou podem incluir o desenho de um produto inteiramente novo, em qualquer destes casos, o trabalho se refere ao processo de projeto.

Este processo não é um fenômeno de inspiração experimentado por uns quantos, sem o resultado de um tratamento sistemático e disciplinado do problema. O processo de projeto é a pauta corrente de atividades que o projetista segue para obter a solução de um problema tecnológico.

O aspecto da palavra desenho cobre uma grande variedade de atividades incluindo a geração inicial de idéias, a criação de formas geométricas, os cálculos de desempenho e o processo de fabricação.

O desenho para a fabricação está se tornando mais importante na medida em que os computadores estão encontrando o seu espaço nas instalações, na forma de ferramentas de controle numérico de computadores.

Finalmente, os computadores estão permitindo que os desenhistas substituam um trabalho tradicionalmente feito através do desenvolvimento experimental, podendo ser agora algumas atividades de desenvolvimento simuladas utilizando um computador que processe tanto um modelo matemático quanto analógico.

O projeto auxiliado por computador (CAD) é uma técnica na qual o homem e a máquina se misturam formando um grupo de resolução de problemas, onde cada um contribui com suas melhores características. O resultado desta combinação pode dar mais certo do que se tivéssemos o homem e a máquina sozinhos, assim, utilizando uma abordagem multidisciplinar temos a vantagem de um trabalho de grupo integrado (BESANT, 1985)..

Esse fato é, portanto útil para examinarmos alguma características individuais do homem e do computador, identificando assim, quais processos podem ser melhor executados separadamente, por quem e onde um pode auxiliar o outro.

Na maioria dos casos os dois são complementares, sendo que alguns aspectos o homem supera a máquina e em outros o computador o supera. A combinação das características de cada um é um fator principal quando se fala em CAD nas seguintes áreas:

a) Lógica de Construção de Projeto – A utilização da experiência combinada com o julgamento e o ingrediente necessário para o processo de desenho, que deve ser controlada pelo projetista, já que este deve ter flexibilidade para trabalhar em várias partes do projeto, podendo seguir sua lógica intuitiva.

b) Manipulação das informações – as informações são necessárias a partir da especificação antes que o estágio de solução possa prosseguir, que deve incluir um fluxo de informações entre o projetista e o computador na forma de gráficos e caracteres alfanuméricos ou seja numa linguagem em que o computador possa codificar e usar, o primeiro papel do computador é verificar a informação em busca de erros humanos, que devem ser corrigidos pelo projetista.

c) Modificação – A informação descritiva deve ser constantemente modificada para possibilitar correções, fazer mudanças no projeto e produzir novos projetos a partir dos anteriores.

d) Análise – Tanto quanto possível, a análise numérica envolvida no projeto deve ser feita pelo computador, deixando o projetista livre para as decisões baseadas nos resultados de sua própria análise intuitiva.

Pode-se verificar pela discussão feita até agora que existe uma clara divisão entre as funções do homem e do computador quando nos referimos ao CAD, mas que se complementam de maneira harmônica.

O computador têm três funções principais:

- 1 – Servir como extensão da memória do projetista;
- 2 – Melhorar o poder analítico e lógico do projetista;
- 3 – Liberar o analista das tarefas repetitivas.

As seguintes atividades são reservadas para o projetista:

- 1 – Controlar o processo de projeto na distribuição das informações;
- 2 – Aplicar a criatividade, perspicácia e experiência;
- 3 – Organizar a informação do projeto (BESANT, 1985).

O computador utilizado no contexto de CAD, é a ferramenta que torna possível organizar, analisar, transmitir e armazenar grandes quantidades de dados e apresentar ordem e eficiência à fabricação, resultando num sistema mais produtivo, mais criativo e mais facilmente gerenciável.

A história das empresas começou a mudar no final da década de 1980, quando os microcomputadores passaram a tomar o lugar da confortável prancheta.

Claro, as máquinas dos primeiros tempos tinham capacidade infinitamente menor e seu alto custo as tornava quase um objeto de luxo, impensável para a maioria, principalmente para pequenas empresas.

Em função da análise e interpretação dos dados obtidos através das entrevistas, questionários e depoimentos e que foram representados graficamente no quadro 2 acima, e nos apêndices 9.3, 9.4, 9.5 e 9.6, propomos o seguinte método que poderá facilitar a mudança do processo de projeto do meio físico para o meio digital:

No método proposto é importante salientar que as mudanças no processo de projeto da prancheta para o CAD devem ser realizadas de forma progressiva estimulando os profissionais nesta transição minimizando os aspectos associados a um processo de mudança.

1. Selecionar o *software* escolhido pelos entrevistados e depoentes das pequenas e médias empresas pesquisadas em suas necessidades que possuem uma melhor relação custo/benefício;

2. Selecionar o *hardware* compatível com o *software* escolhido, sabendo-se que os mesmos são os pontos nevrálgicos na escolha das pequenas e médias empresas e correspondem aos maiores investimentos para que ocorra a transição dos processos tradicionais das empresas que utilizavam a prancheta e estão migrando para o CAD. Contudo o investimento será plenamente retornado quando a empresa recuperar agilidade e competitividade no mercado, através da otimização do tempo gasto em uma maior produtividade gráfica.

A integração de computadores nos processos industriais – do projeto à prototipagem, fabricação e marketing – está mudando os métodos usados por desenhistas, projetista e engenheiros.

A engenharia, em particular, é um campo em constante mudança. Com a evolução de novas teorias e práticas, ferramentas mais poderosas são desenvolvidas e aperfeiçoadas para permitir que o engenheiro e o projetista se

mantenham atualizados com o corpo de conhecimento técnico essencial. O computador tornou-se uma ferramenta indispensável para o projeto e para a solução de problemas práticos. O uso de computadores na engenharia e na indústria vem resultando em novos métodos para análise e projeto, criação de desenhos técnicos, modelos 3D e solução de problemas de engenharia, bem como o desenvolvimento de novos conceitos em automação e robótica.

Finalmente os computadores devem ser selecionados segundo as características mínimas exigidas pelos sistemas CAD, definidos pelos funcionários que o utilizam, de tal forma que agilizem o processo de projeto da concepção à finalização.

Hoje em dia, quase todos os softwares de sistema CAD existentes no mercado partem de objetos tridimensionais por meio dos quais se obtém: projeções bidimensionais e volumétricas, descrições de montagens, cálculo de elementos finitos.

Ao mesmo tempo eles possuem bancos de dados que oferecem propriedades de materiais, bibliotecas, tolerâncias específicas, etc, que auxiliam no desenvolvimento do projeto.

3. Capacitar o pessoal envolvido com esta nova ferramenta CAD, sendo esta capacitação de forma continuada periódica e através de cursos, treinamentos e participações em eventos voltados a área de atuação da empresa em questão.

A equipe deve ser treinada periodicamente uma vez que na área de atividade humana as mudanças ocorrem sistematicamente.

Propiciar com isso um rejuvenescimento profissional aqueles profissionais que trabalham com o processo tradicional de projeto mostrando que existe na empresa preocupação em atualizá-los, desde que tenham interesse em aceitar estas mudanças.

Todos os integrantes da equipe de engenharia e projeto devem ser capazes de se comunicar rápida e precisamente de modo a concorrer num mercado competitivo. Da mesma forma que carpinteiros aprendem a usar as ferramentas do seu ofício, engenheiros, projetistas e desenhistas devem aprender a usar as ferramentas contemporâneas no processo de projeto.

4. Mostrar através dos pontos críticos apontados pelos profissionais depoentes durante o processo de implantação dos sistemas CAD e suas respectivas estratégias, para que sirvam de alerta quanto a metodologia aplicada nas pequenas e médias empresas a serem implementadas com as ferramentas computacionais ;

5. Buscar otimizar o tempo de realização dos projetos feitos em CAD comparados com os executados na prancheta. A utilização do computador no processo de projeto apresenta as seguintes vantagens em relação ao processo convencional:

- Aumentar a produtividade do projeto;
- Aumentar a produtividade na geração de desenhos;
- Melhorar a qualidade dos desenhos (alta precisão);
- Melhorar a qualidade do produto final;
- Minimizar o custo do produto final;
- Melhorar a documentação (uso de biblioteca padrões para rápida repetição de cópias);
- Diminuir o número de revisões no projeto;
- Repetir partes comuns em múltiplos produtos;
- Melhorar o gerenciamento do projeto e consequentemente diminuir a estimativa de custos.

6. Utilizar o software em sua plenitude de recursos (Simulações, customizações, etc.);

Os softwares apresentaram evolução bastante significativa e hoje oferecem recursos quase inimagináveis nos primeiros tempos da informática.

É importante conhecer as peculiaridades de cada um antes de decidir pela compra. “A escolha por um ou outro é uma decisão empresarial que também deve levar em conta o volume de investimento em determinado período de tempo e o treinamento que os funcionários já receberam”

A maioria dos softwares de CAD atuais permitem obter um modelo paramétrico e variacional que consiste na possibilidade de a qualquer momento alterar uma dimensão, retirar ou acrescentar uma relação de modo que o modelo seja automaticamente revisto e atualizado.

Possuem também recursos de customização que é capacidade do software se moldar as características e necessidades da empresa em questão em função de sua área de atuação. Permitem a simulação que é um programa que utiliza um modelo matemático criado para testar numerosas interações do processo de projeto com visualização em tempo real e realimentação numérica.

Permitem que os fabricantes simulem seus produtos antes que eles sejam produzidos.

Estes softwares devem possuir a capacidade de obtenção das projeções ortográficas, a partir do modelo sólido bem como nas montagens de conjuntos virtuais, detectar eventuais erros tanto dimensionais quanto erros de tolerâncias e de ajustes que evitam a construção de protótipos reais com erros, resultando numa economia de tempo, de reprojeção, de custos e agilizando de modo singular o processo de construção de um produto.

As dificuldades operacionais revelam-se problema maior quando uma empresa interage com outras. “Muitos profissionais não sabem aproveitar as possibilidades dos layers ou da inserção de dados na forma de arquivos referenciados - ou referências externas, dependendo do programa. Bem utilizados, esses recursos garantem que todos os profissionais envolvidos tenham acesso sempre à versão mais atualizada do projeto”.

7. Minimizar o tempo do projeto até o produto final, com a utilização das ferramentas gráficas CAD contendo bibliotecas básica de objetos específicos na área de atuação das pequenas e médias empresas permitem reduzir o ciclo de desenvolvimento dos produtos, desde a sua concepção até a sua conclusão. Muitas companhias que introduziram os sistemas CAD, puderam presenciar por parte de seus desenhistas e projetistas às boas vindas ao novo equipamento, pois grande parte do tédio associado com o desenho é executado pela máquina, deixando mais tempo para eles pensarem e planejarem o trabalho, com uma política inovadora de compartilhar uma estação de trabalho CAD entre um número de desenhistas ou projetistas. Cada um deles pode planejar seu trabalho e ir para o sistema CAD por pequenos períodos onde os esboços e as idéias serão trabalhadas em desenhos apropriados, o que pode resultar em um aumento considerável de produtividade.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de novas tecnologias, em paralelo aos novos processos de reestruturação organizacional e programas para melhoria da qualidade nas empresas, buscando alcançar padrões de competitividade do mercado, faz com que as empresas busquem nessas tecnologias a implantação dos sistemas CAD assumindo, assim, papel de relevância no seu contexto de atuação, devido ao seu potencial como ferramenta para sistematização do processo projetual contemporâneo, cuja utilização vem crescendo no Brasil.

Os níveis de integração alcançados, entretanto, mostram-se bastante limitados na prática e os resultados apresentados pela adoção dos sistemas CAD são normalmente inferiores ao potencial representado. A aplicação do CAD tem sido restrita às suas formas mais simples e evidentes (como para a elaboração de desenhos), em um flagrante desperdício de recursos tecnológicos, materiais e humanos. É observada também a carência de informações a respeito das reais oportunidades oferecidas pelos sistemas CAD como ferramenta para integração e adoção de um novo paradigma (utilização de ferramentas computacionais) de gerenciamento dos processos de projeto e produção.

Através da metodologia proposta neste trabalho de pesquisa pode-se contribuir de forma significativa para estudo da implantação dos sistemas CAD nas empresas consideradas, onde através dos resultados coletados através das entrevistas e questionários junto a profissionais que atuam nas áreas de desenho e produção, poderá ser possível:

- Comparar a relação de eficácia e eficiência entre o desenho convencional (desenho físico) e o desenho auxiliado por computador (desenho digital);

- Analisar o impacto causado no meio empresarial (agilidade, melhoria, aumento da produtividade, qualidade do processo);
- Detectar possíveis falhas nos procedimentos de padronização que o sistema disponibiliza e consequentemente identificar ruídos entre o usuário e o sistema;
- Classificar os tipos de problemas detectados entre a interação do usuário e o computador que podem gerar conflito no ambiente de trabalho;
- Obter a opinião fundamentada na experiência dos usuários que vivenciaram o processo de mudança, do desenho convencional (prancheta) para o CAD (desenho auxiliado por computador);
- Conhecer os problemas enfrentados por profissionais da área, durante a implantação do sistema CAD;
- Planejar estratégias de capacitação profissional durante o processo de mudança;
- Preparar os profissionais para os novos desafios que possivelmente terão que enfrentar nesta fase de transição do meio físico para o meio digital.

Sendo os sistemas CAD importantes ferramentas para o desenvolvimento de projetos nas mais diversas áreas da engenharia e design, o estudo acerca de seus efeitos, bem como a análise de estratégias para sua otimização mostra-se como essencial ao processo de desenvolvimento econômico e tecnológico, especialmente em uma região de forte base industrial como o Estado de Santa Catarina.

7.1 Conclusões

A implementação e utilização do CAD/CAM não é um processo tão linear como se poderia eventualmente pensar. Este processo envolve grande investimento, exige mudança na gestão dos processos e requer adaptação da estrutura da empresa à nova realidade das suas capacidades e potencialidades. Contudo, pelas vantagens que o CAD/CAM oferece, pode representar sem dúvida uma grande valia nos recursos disponíveis na empresa, a qual pode fazer a diferença entre a “morte anunciada” e a “sobrevivência/evolução” das empresas, desde que seja convenientemente rentabilizado.

O desenho e a fabricação assistidos por computador têm alcançado atualmente um grande nível de desenvolvimento e implantação e têm se convertido em uma necessidade essencial para a sobrevivência das empresas no mercado cada vez mais globalizado e competitivo. O uso destas ferramentas permite reduzir custos, diminuir tempos e aumentar a qualidade dos produtos fabricados. Estes são os três fatores críticos que determinam o êxito comercial de um produto no contexto social atual, na qual a concorrência é cada vez maior e o mercado demanda produtos de maior qualidade, menor preço e menor tempo de vida. Um exemplo evidente destas circunstâncias é a indústria automobilística, onde cada dia aparecem novos modelos de carros com desenhos cada vez mais sofisticados e com reduzido ciclo de vida do no mercado, em oposição a situação de poucas décadas atrás, onde o número de modelos era bem menor e seu período de comercialização muito mais longo.

Pode-se afirmar que a implantação de um processo de transição da prancheta para o CAD, pode de um modo geral não constituir-se em barreiras, mas sim num aumento da competitividade, tendo em vista que a mudança de paradigma é necessária nesses tempos de globalização onde a concorrência independe das distâncias geográficas existentes entre as pequenas e médias empresas nas mais diversas áreas de atuação.

Após análise criteriosa dos dados obtidos com as entrevistas e os questionários, bem como, com o relato do processo de transição do desenho convencional (Prancheta) para o CAD em empresas utilizadas neste levantamento. Empresas A, B, C, D, E, F, G, H, I e J; verificou-se que existe uma supremacia de parâmetros positivos em relação aos negativos, quanto à efetivação desta mudança. Portanto, a proposta desta tese é que as empresas devam realmente fazer esta passagem (opção) apesar de todos os problemas que terão que solucionar.

Pelos dados levantados, a lista de vantagens da utilização de computadores no processo de projeto em relação ao processo convencional em ordem decrescente de importância conforme mostrado na questão 24 do questionário aplicado foi: Apêndice 9.2.

- Aumento da produtividade e qualidade na confecção de desenhos;
- Melhoria da qualidade do produto final;
- Aumento da produtividade de projeto;
- Minimização do custo final do produto;
- Melhoria na organização da documentação do projeto;
- Otimização do gerenciamento;
- Minimização do número de revisões no projeto.

Nesses quesitos, cabe ressaltar que a implantação e o processo devem ser bem accessorados, por *softwares* originais, de boa qualidade, equipamentos de fácil operacionalização e manutenção, bem como profissionais constantemente atualizados, que possam servir de maneira adequada em qualquer situação apresentada.

As necessidades humanas foram provavelmente o maior motivador para se avançar no conhecimento através das novas técnicas de representação e no desenvolvimento de novas ferramentas de projeto, permitindo agilidade, otimizando e sistematizando o processo de projeto, buscando atender as necessidades de consumo e de melhoria da qualidade de vida no trabalho.

É possível que se vivenciem novas possibilidades e novas formas de trabalho na associação entre projeto, engenharia e produção, buscando assim, a redução de custos através de metodologias mais versáteis.

Contudo, o conhecimento prévio dos fundamentos da Geometria Descritiva e do Desenho Técnico continuarão a ser imprescindíveis, para permitir que o projetista alie a técnica de representação a sua capacidade criativa amparado numa técnica de representação e numa ferramenta gráfica de capacidade cada vez mais surpreendente.

Desenvolveram-se os instrumentos e materiais tradicionais para a representação gráfica, instrumentos tais como: esquadros, compasso, régua e escalímetro, régua T, paralela e tecnógrafo. Instrumentos estes que foram por muito tempo os que dominaram e auxiliaram no desenvolvimento dos desenhos e projetos técnicos.

As ferramentas CAD., revolucionam a forma de representação dos desenhos e projetos técnicos, agregando valor ao desenvolvimento de projeto, reduzindo o tempo, facilitando operações de reprojeção, saindo do contexto físico para o contexto digital.

Diante do exposto e com base nas experiências de sucesso, das empresas que migraram do sistema convencional do desenho em prancheta para o desenho em CAD, propomos para as empresas de pequeno e médio porte uma gradual mas iminente mudança em seus sistemas de desenhos e ou projetos, visando manter ou adquirir subsídios para disputar uma vaga no mercado sob pena de perder clientela, pois o mercado atual não contempla mais a demora e a inadequação em qualquer setor produtivo.

7.2 Sugestões para futuros trabalhos

As condições de implantação, utilização e gerenciamento de sistemas informatizados de apoio à atividade projetual em empresas de engenharia visando a otimização destes sistemas e melhoria das condições de trabalho dos envolvidos neste processo, através da elaboração de recomendações e estratégias gerais e específicas. Além disso visa a divulgação de experiências de utilização de sistemas CAD em Santa Catarina através de artigos científicos e/ou trabalhos técnicos, como forma de auxiliar empresas catarinenses em processo de adoção destes sistemas, bem como, o aprimoramento de experiências em andamento.

8 REFERÊNCIAS

ANAND Vera B. **Computer graphics and geometric modeling for engineers**. New York: John Wiley & Sons, 1993.

ANDRADE, Gustavo de Oliveira. Integração de sólidos e superfícies. **Revista CADesign**, São Paulo: Market Press, ano 10, n. 100, s./d., p. 50-51.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Guia para utilização das normas sobre avaliação de qualidade de produto de software – ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 14598**, 1999.

BARN in <http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>. Acessado em 10 nov. 2004

BAZZO, W.A. **Ciência, tecnologia e sociedade e o contexto da educação tecnológica**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998. 319 p.

BARBERATO, Edson. A criação de novos produtos e a tecnologia CAD/CAM/CAE. **Revista CADesign**, São Paulo: Market Press, ano 7, n. 68 s./d., p.66.

BAZZO, W.A; PEREIRA, L.T.V; LINSINGEN, I.V. **Educação tecnológica enfoques para o ensino de engenharia**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000, p.173.

BENNATI, R. **Aplicações da informática na indústria mecânica**. Petrópolis: Vozes, 1990, p.107.

BERTOLINE in: <http://theti.com/model.htm>. Acesso em 03 ago. 2003.

BESANT, C. B. **CAD/CAM: projeto e fabricação com o auxílio do computador**. Tradução de Ricardo Reinprecht. Rio de Janeiro: Campus, 1985.

BORNANCICI, José Carlos M. et al. **Desenho técnico básico: fundamentos teóricos e exercícios a mão livre**. v.1. Porto Alegre: Sulina, 1981.

BRUNET, P.: Diseño gráfico y modelado geométrico. MOMPÍN, J. (Ed.): **Sistemas CAD/CAM/CAE. Diseño y fabricación por ordenador..** Barcelona: Marcombo, 1986.

BUCHAL, R. O. Home Page. URL: <http://hyperserver.engga.uwo.ca/es029> –The University of Western Ontario. Acessado em 16 jun. 2003.

BUGAY, Edson Luiz. **AutoCAD R14: técnicas de renderização**. Florianópolis: Visual Books, 1998.

_____. **Maquetes eletrônicas**. Florianópolis: Visual Books, 1999.

CARVALHO, Jonas de. Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping*). Disponível em: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem.html> Acessado em 10 nov. 2003.

CATÁLOGO MANUAL. **SolidWorks 2000** – Getting Started – Powerful 3D CAD Software.

CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENGENHARIA GRÁFICA E GEOMETRIA DESCRITIVA, 3, Viena 1988. **Anais....** Recife, Associação Brasileira de Professores de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 1989. v. 3.

DUFF in: <http://theti.com/model.htm>. Acesso em 03 ago. 2003.

DURKIN. Disponível em:: <http://www.eps.ufsc.br/disserta99/camargo/cap3.html> Acessado em 10 nov. 2004.

ELLIOTT, Steven D.; LEIGH, Ronald W.; MATTHEWS, Brian. **AUTOCAD 13: guia completo e conciso de comandos e recursos**. Tradução de Ariovaldo Griesi. São Paulo: Makron Books, 1996.

ESTEPHANIO, Carlos. **Desenho técnico básico**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1984.

FERREIRA, J.C. Intégration des techniques de prototypage rapide et de simulation de la solidification dans les fonderies portugaises. **Revista Hommes et Foundry**, v. 282, 1998, p. 28-3.

FERREIRA, J.C. Rapid prototyping and advanced emerging technologies in the portuguese foundries. **Revista Foundrymen**, v: 91, parte12, 1998, p.379-382.

FOLEY, James D.; DAM, Andries Van. **Fundamentals of interactive computer fraphics**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.1993.

FOLEY, James D. et al. **Computer graphics. Theory and practice**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.1990.

_____. **Computer graphics principles and practice**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.1993.

GIESECKE, Frederick E. et al. **Comunicação Gráfica Moderna**. Tradução de Alexandre Kawano et al. Porto Alegre: Bookman,2002.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas,1991.

_____. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GOMES, Jonas; VELHO, Luiz. **Computação gráfica**. v. 1. Rio de Janeiro: IMPA, 1998.

HILL JUNIOR. Francis S., JAMES D. **Computer Graphics**. New York: Macmillan Publishing Company/Lonon: Collier Macmillan, 1990.

HOELSCHER, Randolph P.; SPRINGER Clifford H.; DOBROVOLNY Jerry S. **Expressão gráfica desenho técnico**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

HOLTZ, Adriana Coimbra. **Modelagem geométrica: estudo e implementação de um sistema de modelagem de sólidos**. 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências). Curitiba: CEFET/PR. 1991.

HORTA, Lucas Cley da, ROZENFELD, Henrique. CAD (*Computer Aided Design*) Disponível em: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/cadv2.htm> Acessado em 10 nov. 2003.

JUNIOR, Almir Wirth Lima. **AutoCAD 2000 2D&3D**. Rio de Janeiro: Book Express, 2000.

LABES, E. M. **Questionário: do planejamento à aplicação na pesquisa**. Chapecó: Grifos, 1998. 128 p.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 1993.

_____. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 1991.

_____. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

LAMIT in: <http://theti.com/model.htm>. Acesso em 03 ago. 2003.

LATERZA, Luiz Bandeira de Mello. Do desenho técnico ao modelamento de sólidos. **Revista CADesign**, São Paulo: Market Press, ano , n.1, s./d., p.18-21.

LINSINGEN, I. V; PEREIRA, L.T.V; CABRAL, C.G; BAZZO, W.A. **Formação do engenheiro**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999, p.240.

MACHADO, Aryoldo. **Comando numérico aplicado às máquinas ferramentas**. São Paulo: Ícone, 1986.

MASSIP R.F. **Diseño industrial por computador**. Barcelona: Marcombo, 1987.

McELENY, John. No futuro haverá um nível mais alto de integração. **Revista CADesign**, São Paulo: Market Press, ano 10, n. 100, s./d., p.26.

MARCONI E LAKATOS. <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/ely/cap4.html>. Acessado em 10 nov. 2004

_____. URL: <http://www.alexomkt.com.br/fisio/42.pdf>. Acessado em 9 out. 2004.

MATSUMOTO, Élia Yathie. **AutoCAD 2000: fundamentos 2D&3D**. São Paulo: Érica, 1999a.

_____. **AutoCAD R14: fundamentos**. São Paulo: Érica, 1999b.

MODELLING. Disponível em: <http://theti.com/model.htm>. Acessado em 3 ago. 2003.

MONTENEGRO, Gildo. **A perspectiva dos profissionais**. São Paulo. Edgard Blucher, 1983.

MORAES Anamaria de (Org.). **Design e avaliação de interface: ergodesign e interação humano-computador**. Rio de Janeiro: iUsEr, 2002.

MORO, Carlos. Prototipagem rápida, uma visão atual. **Revista CAdesign**, São Paulo: Market Press, ano 4, n. 41, s./d., p. 16-17.

MOTTA, Gustavo Dias. O mundo é tridimensional. **Revista CAdesign**, São Paulo: Market Press, ano 7, n. 78, s./d., p. 66.

_____. A engenharia virtual é realidade. **Revista CADWARE**, n. 5, 1997, p 28-30.

NBR 9241-11. **Requisitos ergonômicos para trabalho em escritórios com computadores Parte 11: Orientações sobre usabilidade**. Norma equivalente à ISO 9241-11, 1998. ABNT, 2002.

OMURA, George. **Dominando o AutoCAD14**. Tradução de Bernardo Severo da Silva Filho. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1999.

PERSIANO, Ronaldo Cesar Marinho; OLIVEIRA, Antonio Alberto Fernandes de Oliveira. **Introdução à computação gráfica**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

PINHEIRO, Gabriela Vasquez. Globalização da engenharia. **Revista CAdesign**, São Paulo: Market Press, ano II, n. 12, s./d., p. 58.

REVISTA CADware, São Paulo, ano 3, n. 12, maio/jun., 1999.

RICHARD, Roy. Geometria descritiva dos sólidos (DSG) – um novo método para modelagem em computadores. **IEEE CG&A**, v. 4, jul. 1988, p.145-166.

ROMEU, Marco Vinicius Rigola. **A utilização da informática na apresentação de projetos arquitetônicos**. Monografia (Pós-graduação em Expressão Gráfica). Florianópolis: UFSC, 1998.

ROONEY, Joe; STEADMAN, Philip. **Principles of computer-aided design**. London: Pitman Publishing, 1987.

SALMON R.; Slater M. **Computer graphics: systems and concepts**. Massachusetts: Addison-Wesley 1987

SIHN, Ieda M. Nolla; YAMAMOTO, Arisol S. S. Tsuda. **Curso de AutoCAD 2000 básico**. v.1. São Paulo: Makron Books, 2000.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2000.

SOLINHO, José Luiz Guedes. **Novas perspectivas para aplicações de CAD**. **Revista CAdesign**, São Paulo: Market Press, ano 8, n. 8, s./d., p. 66.

SOUZA, Antônio Carlos de et al.. **AutoCAD R14: guia prático para desenhos em 3D**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

SOUZA, Antônio Carlos de; SPECK, Henderson José; SILVA, Júlio César da; GÓMEZ, Luis Alberto **AutoCAD 2000: guia prático para desenhos em 2D**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000.

_____. **AutoCAD R14: guia prático para desenhos em 2D**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.

SOUZA, Antônio Carlos de et al. **AutoCAD 2004: guia prático para desenhos em 2D**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

_____. **Solidworks 2003 - modelagem sólida**. Florianópolis: Visual Books, 2003, p.218.

SPECK, Henderson José. **Avaliação comparativa das metodologias utilizadas em programas de modelagem sólida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 2001.

STUTZ, Jeferson. 3D na engenharia. **Revista CAdesign**, São Paulo: Market Press, ano 8 n. 89, s./d., p. 66.

TORI, Romero et al. **Fundamentos de Computação Gráfica**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987.

TORRES, J. C. Diseño asistido por ordenador. Disponível em: : <http://lsi.ugr.es/~jctorres/cad/teoria/tema1.pdf>) Acessado em 10 nov. 2004.

TREMBLAY, Jean-Paul; BUNT Richard B. **Ciência dos computadores – uma abordagem algorítmica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1983.

USP. Bibivirt. A biblioteca virtual do estudante brasileiro. <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/>. Acessado em 16 jun. 1999.

VENDITTI, M.V.R. **Desenho técnico sem prancheta com AutoCAD 2002**. Florianópolis: Visual Books, 2003. p.207.

VENETIANER, Tomas. **Desmistificando a computação gráfica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

VOISINET, Donald D. **CAD – projeto e desenho auxiliados por computador. Introdução – conceitos – aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill, 1998.

VYCHNEPOLSKI, I. **Desenho técnico**. Moscou: MIR, 1986, 280p.

WISNER, A. **Por dentro do trabalho: ergonomia método e técnica**. São Paulo: Oboré, 1987.

YOSHIDA, Waldomiro. O CAD nosso de cada dia. **Revista CAdesign**, São Paulo: Market Press, ano 8, n. 82, s./d., p. 66.

YOUSSEF, Nicolau Antonio; FERNANDEZ, Vicente Paz. **Linguagem basic e programas para matemática**. São Paulo: Scipione, 1985

WOHLERS apud CARVALHO, Jonas de. http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/prototipagem.html. Acessado em .10 nov. 2003.

9 APÊNDICES

9.1 Questionário

Este questionário tem como finalidade avaliar a evolução do processo de projeto, desde a forma tradicional até a utilização de ferramentas CAD.

Este estudo, tem como propósito a obtenção do título acadêmico de doutor em um curso de Engenharia de Produção. Sua participação é fundamental para que o trabalho atinja a dimensão e a importância estabelecida na pesquisa.

Inicialmente o sr(a) irá responder algumas questões sobre o perfil de sua empresa, a seguir seu próprio perfil e posteriormente às questões que abordam aspectos evolutivos do processo de projeto (prancheta x CAD). Desde já, fico muito grato pela sua participação.

Caracterização da Empresa

1. Nome da Empresa/Instituição

1. 2 – Produtos e/ou Atividade

| Produto/atividade Principal | Outros Produtos/atividades |
|-----------------------------|----------------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> |

2. Principais Clientes

Caracterização do Informante

3. Nome

4. Idade (anos) coloque um X no campo correspondente.

| | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Até 20 | <input type="checkbox"/> De 21 – 30 | <input type="checkbox"/> De 31 – 40 | <input type="checkbox"/> De 41 – 50 | <input type="checkbox"/> Mais de 51 |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|

5. Sexo

| | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Masculino | <input type="checkbox"/> Feminino |
|------------------------------------|-----------------------------------|

6. Grau de instrução. Se a opção, for uma das relacionadas abaixo, favor especificar:

| | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1º Grau | <input type="checkbox"/> 2º Grau | <input type="checkbox"/> C. Técnico | <input type="checkbox"/> 3º Grau | <input type="checkbox"/> Esp./Aperf. | <input type="checkbox"/> Pós-Graduado |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|

Curso Técnico: _____

Esp./Aperf.: _____

Graduação: _____

Pós-graduado: ___Mestrado ___Doutorado

7. Tipo de ocupação, favor especificar.

| |
|--|
| |
|--|

8. Há quanto tempo o Sr(a) trabalha com desenhos ou projetos (em anos e meses)

| | | | |
|--|------|--|-------|
| | anos | | meses |
|--|------|--|-------|

9. Há quanto tempo o Sr(a) é usuário de CAD (em anos e meses)

| | | | |
|--|------|--|-------|
| | anos | | meses |
|--|------|--|-------|

Caracterização da Área de projetos

10. Número de pessoas envolvidas na área de projeto nos últimos 10 anos

| | | | |
|--|------|--|------|
| | 1994 | | 2004 |
|--|------|--|------|

11. Investimento em equipamentos de informática Hardware para a área de projeto

| | | | | | |
|-----|--|------|-----|--|------|
| U\$ | | 1994 | U\$ | | 2004 |
|-----|--|------|-----|--|------|

12. Investimento em Software de informática para a área de projeto

| | | | | | |
|-----|--|------|-----|--|------|
| U\$ | | 1994 | U\$ | | 2004 |
|-----|--|------|-----|--|------|

13. Investimento em treinamento de pessoal

| | | | |
|--|-----------------|--|-------|
| | Número de horas | | Custo |
|--|-----------------|--|-------|

14. Para um mesmo projeto, qual a quantificação em horas (Alteração do tempo de projeto)

| | | | |
|--|-------------------------------------|--|---|
| | Utilizando ferramentas tradicionais | | Utilizando ferramentas computacionais (CAD) |
|--|-------------------------------------|--|---|

15. Número de empregados treinados

| |
|--|
| |
|--|

16. Formação do pessoal da área de projeto (em número de pessoas) antes e depois da incorporação de ferramentas CAD

| 1994 | | 2004 | |
|---------------------------|--------|---------------------------|--------|
| Formação | Quant. | Formação | Quant. |
| Pós-Graduado | | Pós-Graduado | |
| Superior | | Superior | |
| Médio (inclusive Técnico) | | Médio (inclusive Técnico) | |
| Básico (inclusive Senai) | | Básico (inclusive Senai) | |

Processo de mudança

17. Mudanças de paradigma na concepção dos projetos alterou o perfil do pessoal da área em questão.

| | | | | | | | | | |
|--|------------|--|-------|--|--------------|--|-------|--|------|
| | Totalmente | | Muito | | Medianamente | | Pouco | | Nada |
|--|------------|--|-------|--|--------------|--|-------|--|------|

18. Os softwares de modelagem sólida na sua opinião permitem reduzir o ciclo de desenvolvimento dos produtos, desde a sua concepção (esboço) até sua execução? Relacione-as:

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

19. Qual o tipo de software (Quais são ou foram utilizados) na empresa e porque a mudança?

20. Com a implantação eminente do sistema CAD, por parte da empresa, que expectativa gerou no desenhista convencional?

21. Será que a resistência inicial dos desenhistas convencionais, era o medo do novo ou ser substituído pela máquina?

22. Com a implantação já completada nos dias de hoje e todas as barreiras solucionadas, o profissional que passou por todas as etapas, ao realizar um projeto ou desenho, ainda se utiliza de um croqui ou esboço à mão-livre ou o faz direto no CAD?

23. Os contínuos ajustes e modificações dentro de um projeto complexo, são bem implementados dentro do programa, ou seriam mais fácil partir do zero?

24. Quais vantagens da utilização de computadores no processo de projeto, em relação ao processo convencional, pode-se citar: (em ordem crescente de importância)

| | |
|--|---|
| | Aumento da produtividade de projeto |
| | Aumento da produtividade e qualidade na confecção de desenhos |
| | Melhoria da qualidade do produto final |
| | Minimização do custo final do produto |
| | Melhoria na organização da documentação do projeto |
| | Minimização do número de revisões no projeto |
| | Otimização do gerenciamento |

25. Na sua opinião os desenhos e projetos são gerados mais rapidamente a partir dos modelos sólidos?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

26. Com sua experiência em desenhos e projetos pode-se afirmar que o modelamento sólido permite a redução dos erros deste?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

27. Na sua opinião o projeto em 3D reduz ou elimina os protótipos físicos?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

28. Com a implantação dos sistemas CAD é certo afirmar que os mesmos aceleraram o processo de desenvolvimento dos produtos criados em sua empresa?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

29. Na sua opinião com os modelos sólidos ficou facilitada a alteração de seus projetos com economia de tempo e aumento da qualidade do projeto final?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

30. Com a implantação do sistema CAD no seu ambiente de trabalho e todos os benefícios gerados a partir dessa implantação (redução do tempo em sintetizar, analisar e documentar o projeto, e o aumento da produtividade) pode-se afirmar que o lado humano está acompanhando essa mudança ou sente-se desconfortável em competir com a máquina?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

31. Dentre todos os passos de padronização que o sistema oferece, o que permite uma melhor comunicação entre os usuários dos serviços de engenharia de produto, existe ainda alguma “falha” nessa comunicação?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

32. O usuário e o computador estabelecem uma conversação do tipo pergunta e resposta, passo a passo, que o auxilia na solução de um grande número de problemas. Existe nessa interação algum tipo de “bloqueio”, que pudesse ser solucionado? Cite-o.

| |
|--|
| |
|--|

33. Na sua opinião o CAD melhora o desempenho dos projetistas e aumenta a produtividade em sua empresa, além de possibilitar a tomada de outras decisões importantes durante o desenvolvimento do projeto?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

34. Tendo em vista que os softwares atuais de CAD em sua grande maioria possuem ferramentas que geram automaticamente vistas ortográficas e cortes a partir de modelos 3D, na sua opinião os desenhos 2D, mesmo os digitais, são realmente necessários ?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

35. Finalmente o sr(a) pode afirmar que os dados do projeto em 3D são úteis para toda a empresa?

| | | | | | | | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|
| Sempre | | Quase Sempre | | Às vezes | | Nunca | |
|--------|--|--------------|--|----------|--|-------|--|

Obs: Relacione outras informações complementares que o Sr.(a) considera relevantes nesta pesquisa.

| |
|--|
| |
|--|

9.2 Entrevista

1. Em qual aspecto, a implantação do CAD em sua empresa, gerou mais pontos positivos do que negativos?

| | | | |
|----------------------|-------------------|----------------------|---------------|
| <input type="text"/> | Horas trabalhadas | <input type="text"/> | Produtividade |
|----------------------|-------------------|----------------------|---------------|

2. A mudança ocorrida no ambiente de trabalho possibilitou que os projetistas trocassem mais informações e conhecimento sobre esta nova ferramenta (CAD) ?

| | | | | | | | |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|
| Sempre | <input type="text"/> | Quase Sempre | <input type="text"/> | Às vezes | <input type="text"/> | Nunca | <input type="text"/> |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|

3. Na sua opinião para a empresa houve um impacto econômico (custo do sistema, com *software e hardware*) muito grande no processo de mudança do desenho tradicional (prancheta) x CAD?

| | | | |
|----------------------|-----|----------------------|-----|
| <input type="text"/> | sim | <input type="text"/> | não |
|----------------------|-----|----------------------|-----|

4. No treinamento dos projetistas realizado na empresa ou fora dela ocorreu algum impacto gerado na troca do desenho feito inicialmente em papel para a forma computacional?

| | | | | | | | |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|
| Sempre | <input type="text"/> | Quase Sempre | <input type="text"/> | Às vezes | <input type="text"/> | Nunca | <input type="text"/> |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|

5. Ergonomicamente os usuários do modo tradicional (papel e prancheta) não apresentaram maiores dificuldades em trabalhar com a tela gráfica do computador como substituto da prancheta ?

| | | | |
|----------------------|-----|----------------------|-----|
| <input type="text"/> | sim | <input type="text"/> | não |
|----------------------|-----|----------------------|-----|

6. Nos desenhos realizados com ferramentas tradicionais (prancheta, nanquim etc.) os erros são mais facilmente identificados e corrigidos do que os executados no CAD(modelo 3D, vistas, cortes, detalhamento, cotação, conjunto e detalhes, vistas explodidas, montagens, precisão, nível de acabamento etc..)?

| | | | | | | | |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|
| Sempre | <input type="text"/> | Quase Sempre | <input type="text"/> | Às vezes | <input type="text"/> | Nunca | <input type="text"/> |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|

7. Seu grau de satisfação é maior utilizando as ferramentas CAD ?

| | | | | | |
|--------------|----------------------|------------|----------------------|---------|----------------------|
| Satisfatório | <input type="text"/> | Suficiente | <input type="text"/> | Péssimo | <input type="text"/> |
|--------------|----------------------|------------|----------------------|---------|----------------------|

8. Na sua opinião as ferramentas CAD 3D (Modelagem Sólida) satisfazem plenamente projetos executados por sua empresa?

| | | | | | | | |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|
| Sempre | <input type="text"/> | Quase Sempre | <input type="text"/> | Às vezes | <input type="text"/> | Nunca | <input type="text"/> |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|

9. Na sua opinião houve dificuldades de operacionalização do novo sistema (CAD)?

| | | | | | | | |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|
| Sempre | <input type="text"/> | Quase Sempre | <input type="text"/> | Às vezes | <input type="text"/> | Nunca | <input type="text"/> |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|-------|----------------------|

10. No seu entendimento houve melhoria quanto ao impacto na produtividade comparando-se com o processo tradicional (prancheta) e o CAD?

| | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | sim | <input type="checkbox"/> | não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

11. Sabe-se que essa nova tecnologia necessita de constante aprimoramento e investimento (seja a nível de pessoal como tecnológico). Periodicamente sua empresa gerência esses investimentos (cursos, treinamentos, *software*, *hardware*)?

| | | | | | | | |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|--------------------------|
| Sempre | <input type="checkbox"/> | Quase Sempre | <input type="checkbox"/> | Às vezes | <input type="checkbox"/> | Nunca | <input type="checkbox"/> |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|--------------------------|

12. Na sua opinião com a mudança do desenho tradicional (prancheta) para o CAD (computador) houve maior ligação entre os departamentos de projeto e produção?

| | | | | | | | |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|--------------------------|
| Sempre | <input type="checkbox"/> | Quase Sempre | <input type="checkbox"/> | Às vezes | <input type="checkbox"/> | Nunca | <input type="checkbox"/> |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|--------------------------|

13. Pela sua experiência as novas ferramentas computacionais estão sendo utilizadas em sua capacidade plena em sua empresa?

| | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | sim | <input type="checkbox"/> | não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

14. Na sua opinião a evolução das tecnologias CAD/CAM, melhoraram a integração entre as áreas de projeto, análise (simulações) e fabricação?

| | | | | | | | |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|--------------------------|
| Sempre | <input type="checkbox"/> | Quase Sempre | <input type="checkbox"/> | Às vezes | <input type="checkbox"/> | Nunca | <input type="checkbox"/> |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|--------------------------|

15. No seu ponto de vista projetos de engenharia, são mais fáceis, baratos e seguros utilizando-se modelos computacionais ao invés de avaliar diretamente um protótipo real?

| | | | | | | | |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|--------------------------|
| Sempre | <input type="checkbox"/> | Quase Sempre | <input type="checkbox"/> | Às vezes | <input type="checkbox"/> | Nunca | <input type="checkbox"/> |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|--------------------------|

9.3 Depoimentos

Depoente nº 7

A Divisão de Projetos de Subestações da Empresa G elabora projetos Elétricos, Eletromecânicos e Cíveis de subestações de alta tensão. Um projeto de médio porte totaliza aproximadamente 50 desenhos em A1, 100 em A3 e 200 em A4. Até o final da década de 80, os desenhos eram feitos em papel vegetal, com as técnicas convencionais de então. Tínhamos naquela época um arquivo com aproximadamente 40 mil desenhos em padrões A4 até A0.

Os projetos de subestações têm um grau elevado de padronização, o que vale dizer que os desenhos tanto elétricos como eletromecânicos e cíveis tem um alto índice de repetitividade.

Contávamos à época com um número aproximado de 25 projetistas (engenheiros e técnicos de nível médio) e 5 desenhistas. Os próprios projetistas também desenhavam, porém em grau muito reduzido. Quando a demanda de desenhos não podia ser atendida pela equipe própria, o serviço era terceirizado.

Em 1989 a Empresa G adquiriu o primeiro *software* de desenho (Micro Cadam), num total de 4 licenças. Dois técnicos (um da área de informática e um engenheiro projetista com bom conhecimento em informática) receberam treinamento de uma semana com o fabricante do sistema.

Agora, com os micros e *softwares* devidamente instalados, os engenheiros e técnicos que se interessaram pelo aprendizado do CAD, tiveram uma experiência extremamente interessante e desafiadora. Primeiro porque não tinham qualquer conhecimento de informática e segundo porque a própria transição do desenho convencional para o CAD já era por si só desafiadora.

Num primeiro momento, os engenheiros e técnicos, e não os desenhistas, se interessaram pelo aprendizado do CAD. Provavelmente isso ocorreu pela barreira da informativa em si mesma, que se apresentava mais forte para os desenhistas.

A convivência do desenho de prancheta e CAD se deu por um ou dois anos, até que finalmente os desenhistas se sentiram encorajados e iniciaram também o aprendizado, abandonando o desenho convencional por completo.

A empresa adotou uma política bastante cuidadosa de estimular os profissionais, sem forçá-los, o que permitiu uma transição praticamente sem traumas.

O que se assistiu a seguir foi um revigoramento do desenho na área de projeto. Os engenheiros e técnicos que mal se envolviam com o desenho final, passaram a desenhar seus próprios projetos, inclusive nas suas partes mais repetitivas. Só mais tarde, quando começou a aparecer o cadista profissional (antigos desenhistas convencionais, tanto da Empresa G como terceirizados) é que os projetistas se desincumbiram das tarefas repetitivas de desenho.

Na fase seguinte os projetistas passaram a projetar diretamente na tela, quando a natureza dos projetos assim permitia, tais como nos casos de desenhos eletromecânicos e cíveis.

Já para os diagramas elétricos de comando, sinalização e proteção, que para serem projetados necessitam de informações múltiplas de diversas fontes diferentes (outros desenhos), esse processo fica praticamente inviável. O que se faz é a

utilização em profusão de desenhos padrão (templates) e o trabalho de projeto acaba sendo feito à mão livre. Posteriormente os desenhos são encaminhados ao cadista para finalização.

Nesse processo de transição, vale lembrar que a informática e particularmente o CAD foram elementos importantes no rejuvenescimento profissional, numa equipe de trabalho que contava em média com 15 anos de profissão.

Depoente nº 5

Desde o ano de 1972 até novembro de 1994, nossos projetos e desenhos eram feitos na prancheta, o que era perfeitamente normal e usual naquele tempo, apesar de que já haviam empresas usando o CAD.

Entretanto os custos dos sistemas eram altos, então as empresas protelavam a implantação da nova tecnologia.

Além disso havia, da parte dos desenhistas, o “fantasma” da mudança. Era difícil de imaginar que um desenho grande tivesse que ser visualizado usando *zoom*, mesmo numa tela de 20”, enquanto que na prancheta se podia vê-lo inteiramente simplesmente movendo os olhos.

Não se sabia das facilidades que a novidade permitia, como fazer vários desenhos com alguma semelhança partindo de um desenho anterior ou modificar um projeto inteiro fazendo poucas alterações nos desenhos existentes.

Imagine-se o trabalho que era fazer uma cópia sépia de um vegetal e raspar com lâmina e borracha para fazer um desenho parecido. E raspar os vegetais originais, as vezes até furá-los, para fazer algumas modificações.

Mas finalmente chegou o inevitável: o sistema foi adquirido em novembro de 1994.

Eram oito micros “486, 16 MB de RAM, HD de 200 MB e sistema operacional DOS 6.22”.

O *software* era o AutoCAD R12 e o *ploter* HP DesignJet 650C.

Na época o CAM era o SmartCAM que foi substituído pelo EdgeCAM.

Tivemos um treinamento de uma semana, com um instrutor da empresa que nos forneceu os equipamentos e *softwares*, e assim, em dezembro de 1994 começamos a utilizar o CAD.

Eu já tinha um bom conhecimento do AutoCAD R10, para o qual havia desenvolvido varias rotinas em Lisp e customizações e por isso a transição não foi tão traumática pela ajuda que presto desde aquele período até hoje.

No inicio, o processo era lento mas em dois ou três meses a maioria já tinha assimilado a nova idéia e esquecido os “fantasmas”, com exceção de um desenhista que demorou uns seis meses para aceitar a necessidade da mudança.

Com relação ao 3D, temos três Mechanical Desktop versões 4 e 5, que até pouco tempo eram usados para a geração de algumas superfícies complexas.

Atualmente o uso tem sido mais intenso, inclusive com sólidos, em função de um novo produto que foi incorporado à produção mas a maioria dos trabalhos são feitos em 2D.

Depoente nº 2

Dados pessoais: Curso técnico mecânico no SENAI do Rio Grande do Sul (RGS), trabalha há 25 anos como desenhista, o primeiro emprego foi na Marcopolo. Depois na Hidrojet com bombas de irrigação, tudo feito na prancheta.

Na Lupatec, há 15 anos atrás eles fizeram um levantamento de custos, vantagens e desvantagens para aquisição de *softwares* de desenho denominado AutoCAD.

Na região de Caxias do Sul o pessoal da Autodesk era forte e entendiam do assunto para trabalhar com AutoCAD.

Quando se trata de um desenho único e só ele for usado, as vantagens do desenho feito no AutoCAD, comparado ao desenho feito na prancheta não são muitas.

Mas a grande vantagem do AutoCAD, é quando o desenho precisa ser modificado, ajustado, trocar ou repetir cópia, trocando um furo ou cota, acertando detalhes, não precisamos ficar desenhando, tiramos cópia, ajustamos e logo tem dois arquivos, e antes tínhamos de desenhar tudo outra vez ou raspar o desenho.

A Marcopolo está toda equipada com AutoCAD, esse é um caminho que todas as empresas mais dia menos dia irão tomar: Olsen, Taurus, Intel.

Uma outra significativa vantagem do desenho em AutoCAD, é em relação ao desenho em tamanho A0, que pode ser passado por E-mail e em uma fração de segundo a outra pessoa que recebe o desenho, pois a comunicação fica muito melhor, e antes tinha que tirar cópia, mandar pelo correio, nem sempre os locais de trabalho tinham cópia desse tamanho; e hoje com a internet ficou tudo mais fácil, pois pode-se trocar informações a respeito do desenho, da peça ou do projeto.

Pode-se trabalhar com “layer”, focando num certo detalhe (furo, chanfro) e cria-se um novo arquivo, sem precisar redesenhar todo o conjunto.

Nos últimos tempos a linguagem 3D ou modelamento vem sendo muito utilizada pois ajuda muito na visualização como por exemplo na transição de um furo redondo para um quadrado na interseção de raios, interface de um chanfro com raio, desenhos muito difíceis de representar nas vistas do desenho, era preciso fazer muito detalhamento, corte, seção, ou desenhar em várias posições. Hoje não é mais necessário fazer isso, pois gira-se a peça e faz-se as vistas em 3D para se ter uma noção de tamanho, de número e no lado coloca-se a isométrica para visualizar os detalhes mais complicados, enfim o desenho ficou mais simples.

Como desvantagens podemos citar: poucos cursos de curta duração, que ofereçam dicas mais rápidas para pegar as ferramentas mais utilizadas, pois hoje o tempo é reduzido e não é mais possível fazer um curso longo, as indústrias não aceitam mais demora na capacitação profissional.

Depoente nº 4

Temos vários departamentos com tipos de projetos diferenciados: área de telecomunicações, infra estrutura, parte civil, climatização e parte de antenas – são projetos que são mais um *lay-out* do terreno. Não usamos desenhos em 3D, só basicamente 2D.

Temos uma área que trabalha com agroindústria (avicultura) na parte de ventilação (projetos) de climatização grandes. É um projeto diferenciado do de telecomunicações, e a parte de climatização de *shoppings*, indústrias. Cada projeto

tem uma diferenciação e precisaríamos mostrar os três para se ter uma idéia de como funciona.

Só utilizamos o 3D, quando o cliente exige, porém raramente é utilizado.

Temos uma biblioteca de desenhos tendo em vista que trabalhamos com projetos similares, onde é preciso verificar a dimensão do terreno e o restante é praticamente tudo igual.

O CAD agilizou muito a parte de projetos, podendo mandar para o cliente o E-mail com o projeto e receber o retorno, com sugestão de melhoria, ajustes, ou mesmo de conferência do projeto.

Para cada cliente existe uma equipe que trabalha naquele determinado projeto e para evitar que alguém faça alguma alteração inadequada ou cause danos, cria-se áreas de restrição, ou seja áreas sem acesso, e sempre que o processo de projeto é revisado, é controlado.

O desenho em computação começou a ser implantado em 1992 – o “Designer”, um *software* bem mais simples que o AutoCAD, não precisava ter muito treinamento, era mais intuitivo, a impressão era em escala e o uso foi de 92 à 95, depois teve a migração para o AutoCAD e alguma coisa ainda era feita no Designer e outras já no AutoCAD e foi sendo usado o AutoCAD mais por imposição dos clientes, pois até então conseguia-se exportar do designer para arquivos dxf que conseguia importar para o AutoCAD, mas perdia-se a parte dos parâmetros tais como: letras, textos, dimensionamentos e hoje é tudo 100% AutoCAD.

Depoente nº 6

A empresa F começou a pensar em 1976 a trocar o desenho em prancheta para o computador e inicialmente foi comprado uma única estação gráfica, era um 486 e um AutoCAD R10.

Era uma visão bem estranha, pois foi colocado em uma “salinha” fechada e só o chefe tinha a chave e não era qualquer um que podia usar o computador porque era uma coisa do outro mundo.

Em 96 a empresa F conseguiu um financiamento do Banco Mundial e o banco impôs essa modernização na área de saneamento e na época foi comprado estações *workstation* com visor de 21” com o AutoCAD R13. Para alguns desenhistas que já tinham aprendido no AutoCAD R10, ficou mais fácil ampliar seus conhecimentos, mas os outros que não tinham tido nenhum contato com o computador a resistência foi muito grande. Antes disso a empresa F havia comprado um *ploter* HP 650 e o pessoal usava o *ploter* só para imprimir o selo no vegetal, o cúmulo do desperdício.

Foi preciso tirar as pranchetas e colocar um computador na frente dos desenhistas e anunciar que dali para a frente seria assim. Mas depois o pessoal foi se adaptando, uns com mais facilidade, outros com menos, e todos foram engrenando, paralelo a isso foi oferecido cursos, treinamento e hoje eles percebem que a mudança foi importante, que agilizou o trabalho, que melhorou a qualidade. Outra coisa é que a empresa F não trabalha só com desenho técnico mas com (Normas) da empresa F, nós tínhamos problemas na qualidade como também na normalização do desenho, como cor de layer, nome de *layer*, etc. Nós recebíamos o desenho de fora e o nosso arquivo de pena ao ser plotado ficava muito estranho, com espessura diferente e nós fomos obrigados a criar uma norma, hoje já estamos na terceira edição da norma de desenho em CAD e todos tem que seguir, ela dita

desde espessura, nome de *layer*, cor, qual a espessura a ser plotado, qual a unidade do móvel, qual a espessura do *paper*. Além disso começamos a desenvolver muitas ferramentas e listas para melhorar a produtividade e conhecimento do pessoal da topografia e hoje o material é muito bom nessa área.

O último que foi desenvolvido é um projeto de desenho de rede de esgoto, onde o engenheiro hoje faz de 95 a 99% do projeto, após segue para a topografia, que lança a mesma no AutoCAD. Esse software exporta para o *software* central que faz o cálculo e devolve para o desenho nos *layers* certos, em que o único trabalho é extrair uma cota que por acaso caiu em cima da rua e puxar para o lado e já vem com o orçamento da obra, tudo automatizado, tudo graças a mudança do desenho do CAD, é uma mudança que ainda está em evolução, mas o desenvolvimento tem sido muito grande, principalmente para o pessoal de rede de esgoto, de água, de topografia, que tiveram um ganho muito grande com as ferramentas que nós conseguimos automatizar.

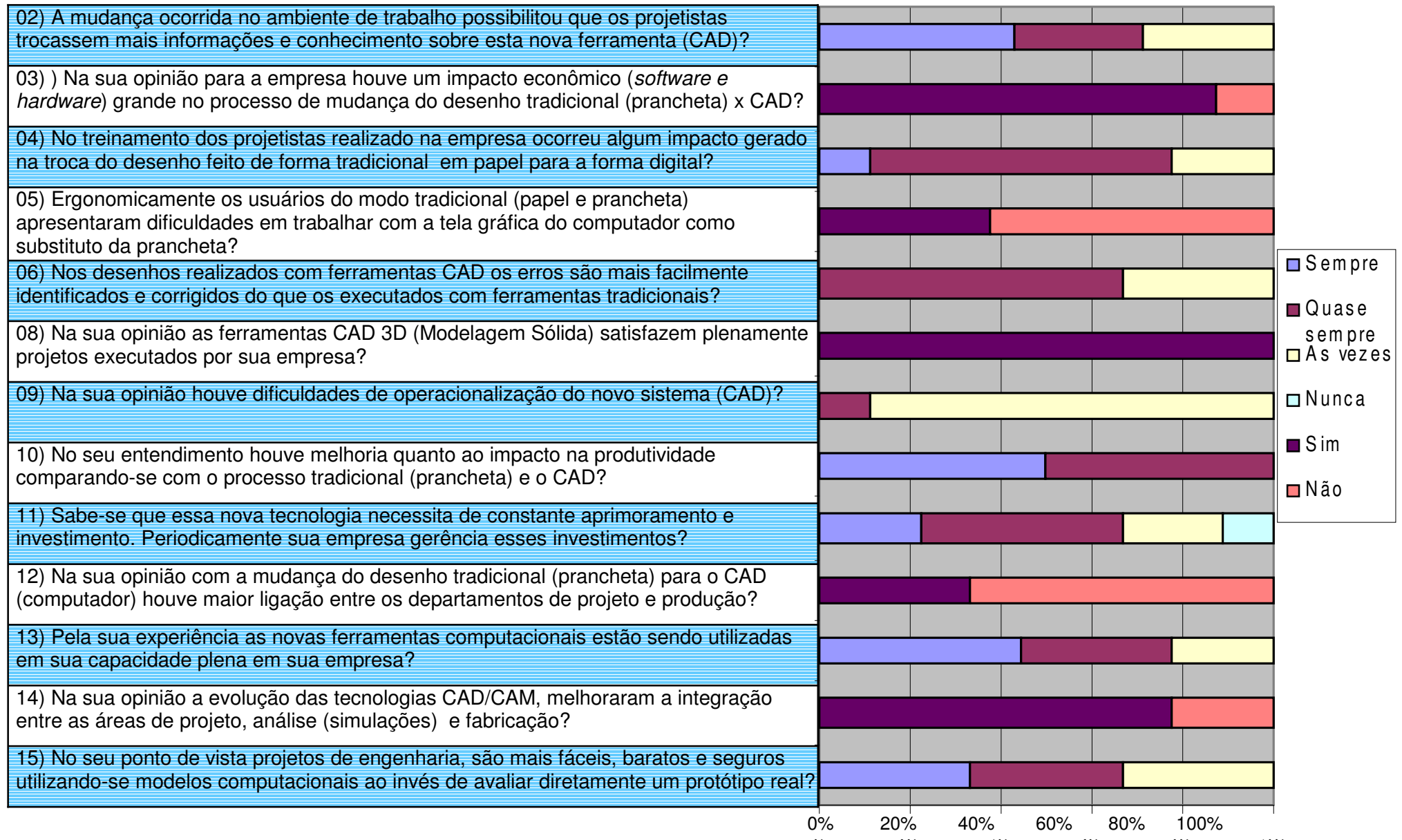
Depoente nº 9

A experiência que se tem no desenvolvimento do desenho, tanto na parte de prancheta, quanto na parte de AutoCAD, SolidWorks ou MicroStation é de uma evolução ampla para o desenho em computador, onde a tendência com a prática e o desenvolvimento e conhecimento do pessoal, tem um acerto bastante significativo, em função das possibilidades que o *software* hoje favorece, como simulações, simulações de carga, simulações de movimento. Esse ganho faz com que o projeto tenha um tempo de operação menor, e um acerto maior, algumas etapas que poderia citar como ganho: por exemplo, um departamento da empresa que não conhece desenho, esse depto pode visualizar o produto através de animações, fotos, e pode até sugerir algumas correções, que anteriormente só era possível através do protótipo, esse tempo encurta para a engenharia e para a comercialização do produto, com retorno financeiro para a empresa.

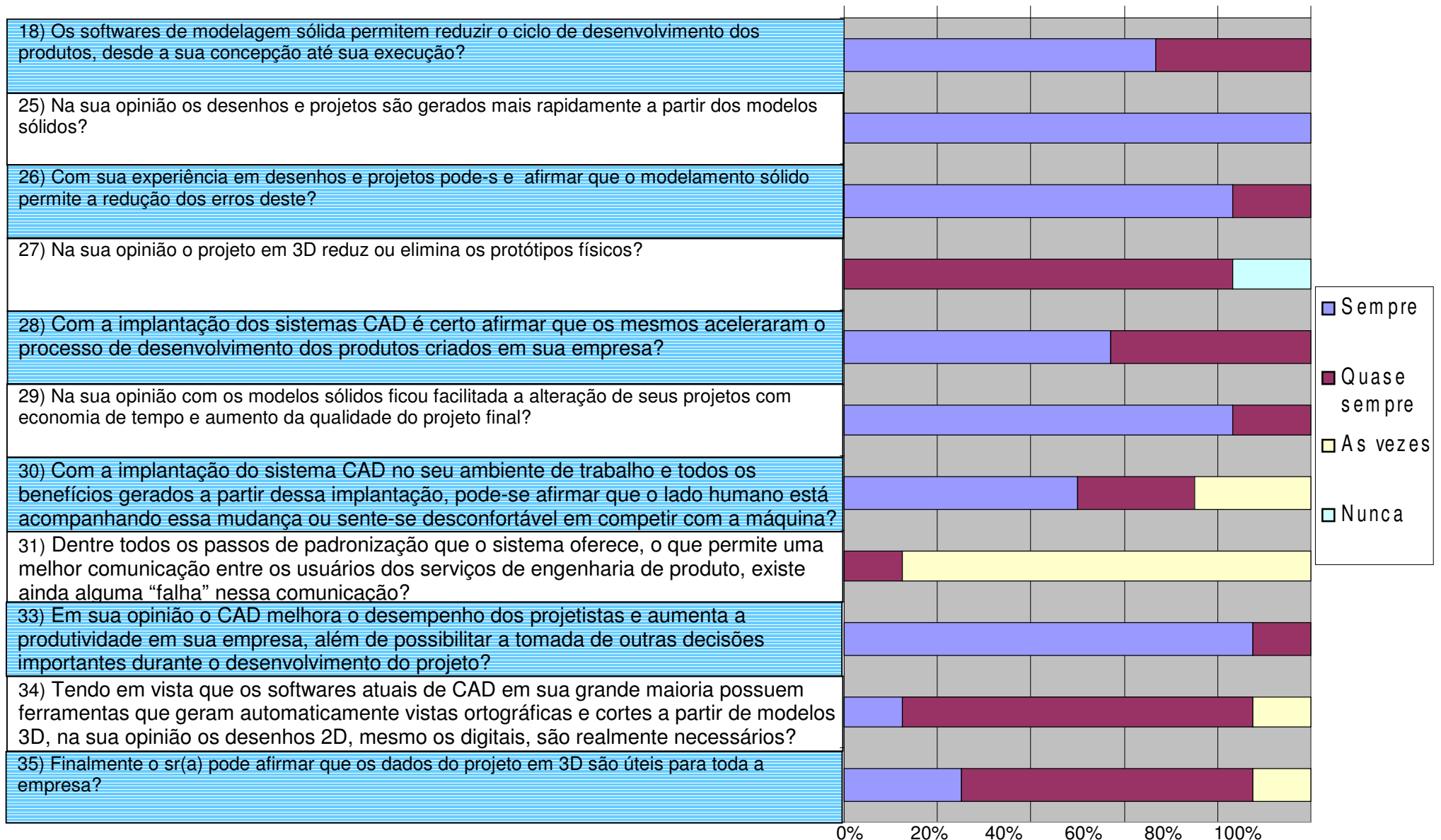
Outra vantagem bastante importante é a simulação de movimentos que o sistema tem a oferecer e o número de erros no projeto pode ser então reduzido à nível de protótipo e do acerto do desenho final.

Ainda como outra vantagem é a solicitação de retirada de cópias, envio por meio eletrônico, com retorno e repasse rápido de informações, possibilidade de fazer acertos e de trocar com outras empresas, podendo mandar um programa em que foi desenvolvido uma ferramenta, para um sistema CAM, e transferir os dados para uma máquina, onde toda essa parte tecnológica apresenta todas as vantagens em qualquer um dos meios, com acompanhamento e ganho de velocidade.

9.4 - Gráfico das respostas referentes às questões 02 a 15 das entrevistas



9.5 - Gráficos das respostas referentes às questões entre 18 e 35 dos questionários



| Empresa | | A | B | C | D | E | C | G | H | I | J |
|--|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|--|--------------------------|--|------------------------------|--|-------------------------|
| Nome do informante | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Grau de instrução | | Eng. Mecânico | Eng. Industrial Elétrica | Tecnólogo de Processamento de Dados | Administração de Empresas | Segundo Grau | Eng. Civil/Mestre | Eng. Eletrecista/Especialista | Administração | Eng. Mecânico | Sistemas de Informação |
| Produtos e/ou atividades | | Desenvolvimento de Produtos | Telecomunicações | Compressores herméticos | Projetos e Execução de sist.Ventilação | Maquinas e Equip. p/ cerâmica e minérios | Saneamento | Distribuição de Energia Elétrica | Educação | Cadeiras Odontológicas e Medicas | Projetos de Engenharia |
| Principais clientes | | Intelbras,Siemens,Nokia | Telefônica, Brasiltelecon | 60 países-Refrigeração | Sadia, Perdigão, Tim,Claro e Vivo | Cecrisa,Eliane,Incepa e Portobello | População em geral de SC | Industria, Comercio e Residências de SC | Sociedade em geral | México, Rússia e Ucrânia | Não informado |
| Ocupação principal | | Eng. de desenvolvimento | Projetista Mecânico Sr. | Projetista senior II | Gerentes de Projeto | Projetista mecânico e suporte em CAD | Eng. Civil/Mestre | Projeto Elétrico de subestação ate 138KV | Docente | Diretor de Expansão Industrial e Qualidade | Analista de suporte CAD |
| Tempo de trabalho c/ desenhos e projetos | | 17 anos | 28anos e 6 meses | 13 anos | 17 anos | 30 anos e 10 meses | 30 anos | 28 anos | 5 anos | 25 anos | 4 anos |
| Há quanto tempo é usuário de CAD | | 12 anos | 11 anos e 6 meses | 9 anos | 10 anos | 12 anos | 11 | 15 anos | 10 anos | 15 anos | 4 anos |
| N° de pessoas envolvidas c/ projetos nos últimos 10 anos | 1994 | 3 | 6 | 36 | 10 | 13 | Não informado | 20 | 13 | 6 | 200 |
| | 2004 | 5 | 3 | 8 | 50 | 9 | Não informado | 10 | 3 | 5 | 1000 |
| Investimentos em hardware | 1994 | U\$ 6000 | U\$ 10000 | R\$ 3000 por equipamento | U\$ 1000 | U\$ 50000 | Não informado | U\$ 50000 | U\$ 8000 | U\$ 0 | Não informado |
| | 2004 | U\$4000 | U\$ 5000 | R\$ 12000 por equipamento | U\$10000 | U\$ 0 | Não informado | U\$ 25000 | U\$ 4000 | U\$ 2000 | Não informado |
| Investimentos em software | 1994 | U\$ 3000 | U\$ 8000 | Não informado | U\$ 300 | U\$ 45000 | Não informado | U\$ 30000 | U\$ 12000 | U\$ 0 | U\$ 300.000 |
| | 2004 | U\$ 4000 | U\$ 5000 | Não informado | U\$ 18000 | U\$ 0 | Não informado | U\$ 20000 | U\$ 5600 | U\$ 15000 | U\$ 2000.000 |
| Investimento treinamento de pessoal | Horas | Não informado | 40 horas | Não informado | 100 | 40 | Não informado | 400 | 200 | 200 | 1500 |
| | Custo | Não informado | U\$ 1000 | Não informado | U\$ 1000 | R\$ 2.400,00 | Não informado | 5000 | 100 | R\$ 7500,00 | U\$ 900.000 |
| Quantificação em horas p/ um mesmo projeto | Ferramenta Tradicional | 100 | 120 | Não informado | 10 | 100 | Não informado | 160 | 360 | 200 | 10 |
| | CAD | 40 | 70 | Não informado | 2 | 60 | Não informado | 100 | 200 | 120 | 3 |
| N° de funcionários treinados | | 5 | 5 | 8 | 50 | 10 | Não informado | 10 | 3 | 5 | 1000 |
| Formação do quadro funcional antes da incorporação de ferramentas CAD | | 4 | 4 | Não informado | 10 | 12 | Não informado | 20 | 13 | 6 | 200 |
| Formação do quadro funcional depois da incorporação de ferramentas CAD | | 5 | 6 | Não informado | 50 | 9 | Não informado | 10 | 3 | 5 | 1000 |
| Software utilizado | | AutoCAD e SolidWorks | AutoCAD, Cimatron e SolidWorks | Euclid, Pro/Engineer | Designer, AutoCAD | AutoCAD e Mechanical Desktop | AutoCAD Map | MicroCadam e AutoCAD | AutoCAD, Rhinoceros e 3D max | MicroStation e SolidWorks | Tecnologia Plant Design |